

Perilaku Struktur Jembatan Baja Pelengkung Berdasarkan Spektrum Gempa

Behavior of Curved Steel Bridge Structures Based on Earthquake Spectrum

Widya Apriani^{1,*}, Fadrizal Lubis¹, Reni Suryanita², Elva Nidya Sari¹

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lancang Kuning, Jl. Yos Sudarso Km. 8 Pekanbaru, Riau

²Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Riau, Jl. HR Soebrantas KM.12.5 Pekanbaru, Riau

* Penulis korespondensi : widyaapriani@unilak.ac.id

Tel.: +62-85271620554; fax.: -

Diterima: 14 Oktober 2019; Direvisi: 21 Oktober 2019; Disetujui: 23 Oktober 2019.

DOI: 10.25299/saintis.2019.vol19(02).3924

Abstrak

Perencanaan struktur jembatan baja pelengkung harus memperhatikan kemampuan respon strukturnya yang rentan terhadap deteriorasi akibat fatik, ancaman gempa bumi kuat atau angin topan, khususnya di wilayah Sumatera yang mempunyai resiko gempa yang tinggi. Penelitian ini fokus memprediksi struktur jembatan pelengkung baja dengan analisis repons spectra dengan bantuan software analisis struktur gempa berdasarkan SNI 1726-2012 m. Percepatan gempa yang diambil berasal dari beberapa kota seperti Kota Aceh, Padang, Tanjung Pinang, dan Pekanbaru yang memiliki karakteristik. Hasil analisis menunjukkan respon struktur jembatan terbesar terjadi di Padang dengan nilai perpindahan sebesar 0,016267 m dan percepatan sebesar 0,0235 m. Sementara itu, respons struktur terkecil terjadi di kota Tanjung Pinang dengan nilai perpindahan sebesar 0,01552 m dan nilai percepatan sebesar 0,0208 m. Diharapkan dengan diketahuinya hasil prediksi kesehatan struktur jembatan dapat digunakan sebagai referensi/masukan bagi pemerintah dan pihak yang terkait dalam usaha memperbaiki jembatan dengan tepat, sehingga diharapkan dapat mencegah terjadinya keruntuhan struktur jembatan.

Kata Kunci: *Jembatan baja pelengkung, respons struktur, spektra gempa Sumatera.*

Abstract

Curved steel bridge structure planning must pay attention to the responsiveness of the structure that is vulnerable to deterioration due to fatigue, the threat of strong earthquakes or hurricanes, especially in the region of Sumatera which has a high earthquake risk. This study focuses on predicting the structure of steel curved bridges with spectral response analysis with the help of earthquake structure analysis software based on SNI 1726-2012. The earthquake acceleration taken came from several cities such as Aceh City, Padang, Tanjung Pinang, and Pekanbaru which have characteristics. The analysis shows the largest bridge structure response occurred in Padang with a displacement value of 0.016267 and acceleration of 0.0235. Meanwhile, the smallest structural response occurred in Tanjung Pinang city with a displacement value of 0.01552 and an acceleration value of 0.0208. It is expected that by knowing the results of the bridge structure health predictions can be used as a reference / input for the government and related parties in an effort to repair the bridge appropriately, so that it is expected to prevent the collapse of the bridge structure.

Keywords: *Curved steel bridge, structural response, Sumatera earthquakes spectra.*

PENDAHULUAN

Perencanaan struktur jembatan harus memperhatikan respon strukturnya terhadap lingkungan seperti ancaman gempa bumi yang kuat, atau angin topan karena struktur jembatan rentan terhadap kerusakan dan deteriorasi selama masa layan [1].

Jembatan baja pelengkung merupakan salah satu tipe jembatan dengan tipe struktur rangka yang membentuk kurva lengkung kemudian disatukan dengan hanger/kabel baja sebagai penyalur beban lantai jembatan menuju ke tumpuan jembatan[2]. Jembatan ini merupakan jembatan yang terdiri dari berbagai jenis material penyusun seperti beton bertulang, baja pelengkung, kayu.

Konstruksi Jembatan pelengkung memiliki keunggulan antara lain bentuk jembatan pelengkung merupakan inovasi dari peradaban manusia yang memiliki nilai estetika tinggi dan memiliki kekuatan yang tinggi terbukti jembatan kuno Romawi menggunakan tipe ini dan masih berdiri hingga kini. Namun konstruksi rangka baja ini memiliki kelemahan khususnya pada biaya pemeliharaan dan juga rentan terhadap resiko yang dapat mengakibatkan strukturnya menekuk. Bukan hanya itu, konsentrasi tegangan yang terlalu tinggi juga bisa menjadikan baja kehilangan daktilitasnya [3]. Oleh karena itu perlu adanya monitoring struktur sebelum kegagalan bencana terjadi, salah satunya yaitu dengan analisis respon spectrum [4]. Tujuan penelitian ini difokuskan

untuk menentukan respons spektrum jembatan berupa nilai perpindahan struktur dan nilai percepatan struktur akibat pengaruh lokasi dan jenis tanah yang berbeda (3 jenis tanah: tanah lunak, tanah sedang dan tanah keras). Dalam menganalisis respons spektrum, di ambil wilayah Sumatera yaitu kota Padang, Aceh, Tanjung Pinang dan Pekanbaru sebagai pembandingan kekuatan struktur jembatan tersebut.

Terdapat beberapa metode dalam menganalisis beban gempa antara lain metode static ekuivalen, metode dinamik respon spektrum dan metode analisis dinamik nonlinier time history [5]. Analisis dinamik memiliki keunggulan dibandingkan dengan analisis static yang hanya terbatas oleh bentuk konfigurasi ruang dan ketinggian bangunan. Analisis respon spektrum merupakan analisis dinamik yang dapat menunjukkan kondisi respons struktur menurut waktu puncak dari percepatan gempa. Respons spektrum adalah grafik yang menyatakan hubungan antara periode getar struktur (T) dengan respons struktur maksimum saat mengalami getaran gempa tertentu [6].

METODOLOGI

Respons spektrum merupakan suatu spektrum hasil analisis dinamik beban gempa yang mengambil titik-titik maksimum dari respons gempa dalam hubungan periode dengan respons struktur yang dinyatakan dalam suatu grafik [7].

Prosedur untuk memperoleh grafik respons spektrum gempa adalah sebagai berikut.

1. Menentukan nilai spectral percepatan pada 0,2 detik (S_s) dan spectral percepatan pada 1 detik (S₁).
2. Menentukan Koefisien Situs (Fa dan Fv)
 Nilai Fa dan Fv ditentukan berdasarkan kelas situs tanah yaitu SA (batuan keras), SB (Batuan), SC (Tanah keras, sangat padat dan batuan lunak), SD (tanah sedang), SE (Tanah lunak), dan SF.

Menentukan Koefisien situs (Fa)

Tabel 1. Koefisien Situs Fa

Kelas situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa MCE _R terpetakan pada Periode Pendek, T = 0,2 detik, S _s			
	S _s ≤ 0,25	S _s = 0.5	S _s = 0.75	S _s = 1
SA	0.8	0.8	0.8	0.8
SB	1.0	1	1	1.0
SC	1.2	1.2	1.1	1.0
SD	1.6	1.4	1.2	1.1
SE	2.5	1.7	1.2	0.9

Catatan : Untuk nilai-nilai antara S_s dilakukan interpolasi linier

Menentukan koefisien situs (Fv)

Diketahui S₁ = 0.3

Tabel 2. Koefisien Situs Fv

Kelas situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa MCE _R terpetakan pada Periode 1 detik, S ₁				
	S ₁ ≤ 0.1	S ₁ = 0.2	S ₁ = 0.3	S ₁ = 0.4	S ₁ ≥ 0.5
SA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
SB	1.0	1	1	1.0	1.0
SC	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
SD	2.4	2	1.8	1.6	1.5
SE	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4

Catatan : Untuk nilai-nilai antara S_s dilakukan interpolasi linier

3. Menentukan Spektral Respons Percepatan (Spectral Response Acceleration) S_{DS} dan S_{D1} untuk

$$S_{MS} = S_s \times F_a \tag{1}$$

$$S_{M1} = S_1 \times F_v \tag{2}$$

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS} \tag{3}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1} \tag{4}$$

4. Menghitung parameter respons spectrum desain

$$T_0 = 0,2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \tag{5}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \tag{6}$$

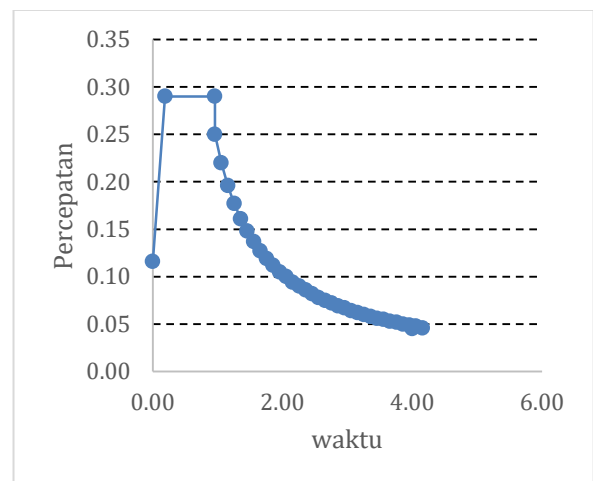
Untuk periode yang lebih kecil dari , spectrum respons percepatan desain , Sa, harus diambil dari persamaan [7] :

$$S_a = S_{DS} \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0} \right) \tag{6}$$

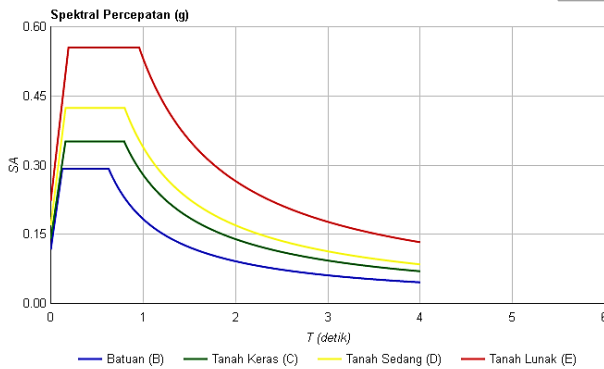
Untuk periode yang lebih besar dari Ts, Sa berdasarkan persamaan [8]:

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \tag{7}$$

Diperoleh grafik respons spektrum:

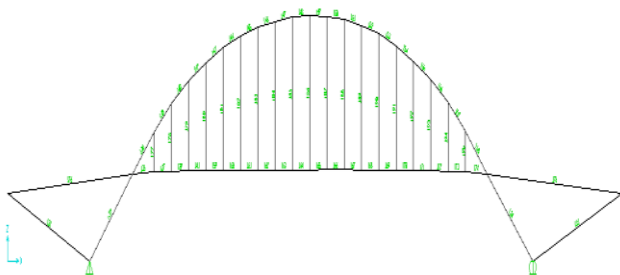


Gambar 1. Respons Spektra Pekanbaru



Gambar 2. Input Data Response Spectrum Gempa Pekanbaru

Selanjutnya tahap analisis jembatan dilakukan dengan menggunakan bantuan software struktur elemen hingga. Adapun respons yang akan ditinjau adalah perpindahan dan percepatan struktur jembatan[9]. Tahap awal pemodelan jembatan dilakukan dengan mendefinisikan material dan jenis penampang setiap elemen jembatan.



Gambar 3. longitudinal cross section Jembatan Pelengkung

Section properties jembatan yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

1. Tipe konstruksi = Baja pelengkung
2. Diameter hanger= 10 cm
3. Lebar jalan= 7 m
4. Lebar bahu=1,6 m
5. Lebar jembatan seluruhnya= 10.2 m
6. Rangka pelengkung= 120 X 80 cm t24 mm
7. Rangka bawah = 60 X 60 cm t 24 mm
8. Diafragma = 400x400 cm
9. Girder= 600x600 cm
10. Baja mutu = JIS G 3106 SM YB
11. Tegangan leleh (f_y) = 295 Mpa
12. Tegangan putus/ultimate (f_u) = 490 Mpa
13. Modulus elastisitas = 200000 Mpa
14. Berat jenis= 78.5 kN/m^3
15. Baja mutu Grade = 490 MPa
16. Tegangan leleh = 490 MPa
17. Tegangan putus = 610 MPa
18. Modulus elastis = 210000 MPa
19. Berat jenis = 78.5 kN/m^3

Tahapan selanjutnya yaitu membuat komponen gelagar, diafragma, dan perletakan jembatan. Setelah itu dilakukan penginputan beban jembatan seperti beban mati, beban lalu lintas dan beban gempa berupa respons spectrum untuk masing masing lokasi[10]. Perhitungan pembebanan digunakan untuk menentukan beban yang bekerja di jembatan. Beban yang dimasukkan sesuai dengan standar SNI Pembebanan jembatan tahun 2016[11][12]. Berat sendiri struktur jembatan dihitung secara otomatis oleh SAP 2000[13]. Adapun beban berat sendiri yang diperhitungkan antara lain:

1. Beban Tetap Berat sendiri, terdiri atas:

- Berat sendiri baja = 7850 kg/m^3 (78 kN/m^3)
 - Berat sendiri beton (*deck slab*) = 2400 kg/m^3 (24 kN/m^3)
- Kedua beban diatas didefinisikan langsung oleh program SAP2000.
- Berat sendiri trotoar (beton) = 2400 kg/m^3 (24 kN/m^3)
 - Berat aspal beton = 2240 kg/m^3 (22 kN/m^3)

a. lantai

$$\begin{aligned} \text{luas lantai} &= 0.5(0.1 \text{ m} + 0.13 \text{ m}) \times 11 \text{ m} = \\ &= 1.265 \text{ m}^2 \\ \text{total berat} &= 1.265 \text{ m}^2 \times (98/20) \times 24 \text{ kN/m}^3 \\ &= 148.764 \text{ kN} \end{aligned}$$

b. balok memanjang

$$\begin{aligned} \text{total panjang balok} &= 4.9 \text{ m} \\ \text{luas balok hollow } 400 \times 600 &= 78 \text{ kN/m}^3 \times \\ &0.2352 \text{ m}^3 = 18.346 \text{ kN} \\ \text{total berat balok memanjang} &= 18.346 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. Beban kerb dan railing

Beban trotoar dan lapisan aspal beton merupakan beban mati sekunder/ tambahan (*super impose dead load*) yang beratnya tetap namun dapat berubah selama masa layan jembatan[13][14], dan diperhitungkan sebagai input beban dalam SAP2000.

- Beban trotoar = $0.2 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3 = 4.8 \text{ kN/m}^2$

Trotoar disepanjang bentang pada dua sisi jembatan dengan lebar 1,5 meter dan bekerja sebagai beban merata area.

- Beban railing = $0.5 \times 0.8 \text{ m} \times (0.25 + 0.15) \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3 = 3.84 \text{ kN/m}$

Railing berada di sepanjang bentang pada kedua sisi jembatan dan bekerja sebagai beban garis merata[15].

$$\text{Total Berat} = 2 (\text{kanan dan kiri}) \times 3.84 \text{ kN/m} \times 4.9 \text{ m} = 37.632 \text{ kN}$$

Sedangkan beban mati tambahan dihitung dengan $BTR = 9,0 \left(0,5 + \frac{15}{160} \right) = 5.34375 \text{ kN/m}^2$ dan beban garis terpusat yang digunakan adalah 49 kN/m dengan faktor pembesaran dinamis 1,375. Berat truk uji dan penempatan beban truk

uji disesuaikan dengan kondisi pada saat pengujian beba[16][17][18].

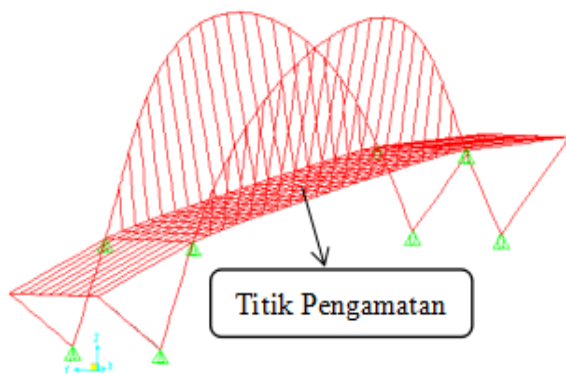
Selanjutnya dilakukan analisis respons spectrum dengan melihat ragam kumulatif dengan partisipasi lebih dari 90%[19][20]. Selanjutnya di analisis nilai perpindahan dan percepatan untuk arah x dan arah y[21].

HASIL DAN DISKUSI

Sesuai SNI 1726-2012 jumlah pola getar yang ditinjau dalam penjumlahan respon ragam mencakup partisipasi sekurang-kurangnya 90%[22][23]. Ragam getar struktur yang diperoleh digunakan untuk menentukan karakteristik dinamik dari suatu system struktur. Ragam getar ini didefinisikan oleh properti fisik serta distribusi spasial dari komponen penyusun system struktur[24]. Dari hasil diperoleh ragam pada mode pertama hingga ketiga adalah linier dengan partisipasi massa sebesar 90%. Dalam analisis dinamik yang dilakukan, digunakan 15 ragam pola getar dan partisipasi massa yang disumbangkan masing-masing 90.22% pada mode ke 8 untuk translasi arah x (SUM UX), sebesar 92.79% pada mode ke 14 untuk translasi arah y (SUM UY) dan sebesar 93.55% pada mode ke 9 untuk rotasi arah sumbu z (SUM RZ).

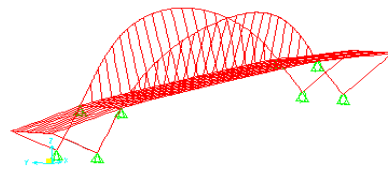
Berdasarkan gambar 4 diketahui periode fundamental T sebesar 1,61345 det dan frekuensi f sebesar 0,61979 Hz. Titik pengamatan dilakukan pada tengah jembatan (nodal 234) yang merupakan titik maksimum displacementsnya (Gambar 4).

Hasil analisis respon struktur berupa perpindahan perpindahan dan percepatan untuk tinjauan 4 lokasi diwilayah sumatera yang memiliki kondisi gempa dan kondisi tanah yang berbeda-beda. Titik tinjauan dapat dilihat pada gambar berikut ini.

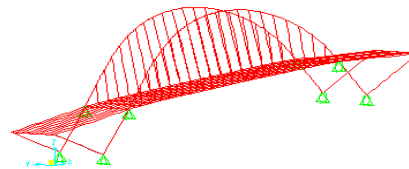


Gambar 4. Titik Pengamatan

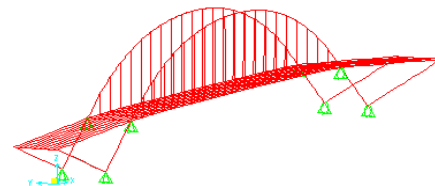
Ragam ke-1 (T = 1,61345 det;f = 0,61979 Hz)



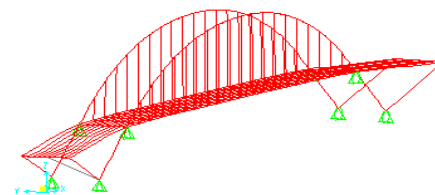
Ragam ke-2 (T = 1,59641 det;f = 0,62641 Hz)



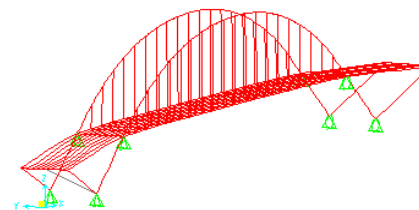
Ragam ke-3 (T = 1,31245 det;f = 0,76193 Hz)



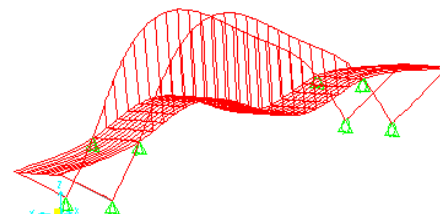
Ragam ke-4 (T = 1,09848 det;f = 0,91035 Hz)

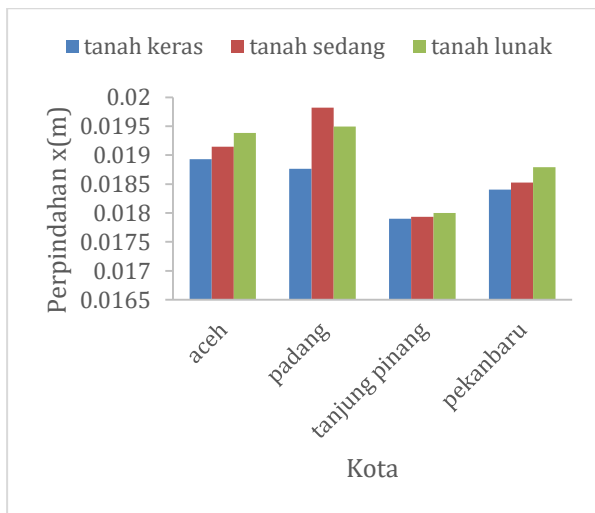


Ragam ke-4 (T = 1,09848 det;f = 0,91035 Hz)



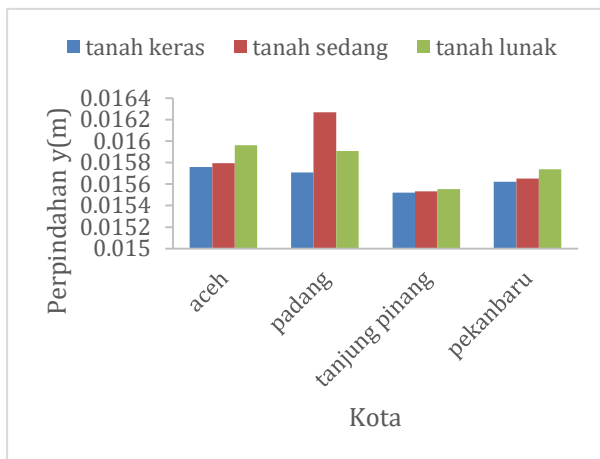
Ragam ke-5 (T = 0,81380 det;f = 1,22880 Hz)





Gambar 5. Perpindahan Arah X Pada Titik Pengamatan

Berdasarkan gambar 5 wilayah padang memiliki nilai perpindahan tertinggi yaitu 0,019822 m dengan kondisi tanah sedang kemudian diikuti dengan tanah lunak. Sementara nilai perpindahan minimum yaitu wilayah tanjung pinang dengan nilai perpindahan 0,017903 m dan kondisi tanah keras. Untuk daerah kontur gempa tinggi yaitu aceh dan padang secara umum memiliki respons perpindahan yang lebih besar dibandingkan dengan daerah tanjung pinang dan pekanbaru. Hal ini mengindikasikan bahwa jenis tanah dan percepatan tanah terhadap gempa menentukan respons struktur pada jembatan tersebut. Sedangkan perpindahan maksimum dan minimum arah y dapat dilihat pada gambar 6 berikut ini.

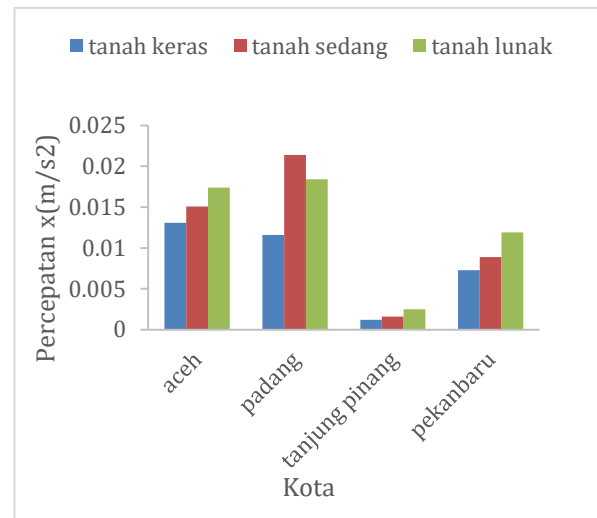


Gambar 6. Perpindahan Arah Y Pada Titik Pengamatan

Nilai perpindahan maksimum arah y terdapat di wilayah padang dengan kondisi tanah sedang dan nilai perpindahannya yaitu sebesar 0,016267 m. Dan nilai perpindahan minimum arah y terdapat di wilayah tanjung pinang dengan kondisi tanah keras dan besar perpindahan yang terjadi yaitu sebesar 0,01552 m. Untuk daerah kontur gempa tinggi yaitu aceh dan padang secara umum memiliki respons perpindahan yang lebih besar dibandingkan

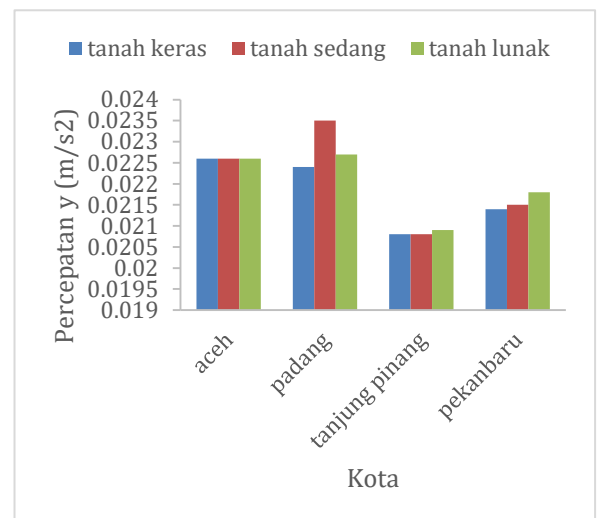
dengan daerah tanjung pinang dan pekanbaru. Hal ini mengindikasikan bahwa jenis tanah dan percepatan tanah terhadap gempa menentukan respons struktur pada jembatan tersebut.

Percepatan pada arah x dan y dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 7. Percepatan Arah X Pada Titik Pengamatan

Berdasarkan gambar 7 nilai percepatan arah x maksimum terjadi pada wilayah padang dengan nilai percepatan sebesar 0,0235 m dan kondisi tanah sedang. Sedangkan nilai percepatan minimum arah x terdapat diwilayah tanjung pinang dengan kondisi tanah keras. Dan nilai percepatannya sebesar 0,0012 m. Untuk daerah kontur gempa tinggi yaitu aceh dan padang secara umum memiliki respons perpindahan yang lebih besar dibandingkan dengan daerah tanjung pinang dan pekanbaru. Hal ini mengindikasikan bahwa jenis tanah dan percepatan tanah terhadap gempa menentukan respons struktur pada jembatan tersebut.



Gambar 8. Percepatan Arah Y Pada Titik Pengamatan

Pada arah Y pada titik pengamatan menghasilkan nilai percepatan maksimum arah y terdapat pada wilayah padang, kondisi tanah sedang dengan nilai percepatan 0,0235 m. Dan nilai percepatan minimum arah y yaitu wilayah tanjung pinang dengan kondisi tanah keras dan tanah sedang. Dan nilai percepatannya yaitu sebesar 0,0208 m. Sedangkan wilayah aceh dengan nilai percepatan sama baik dengan kondisi tanah keras, tanah sedang dan tanah lunak. Untuk daerah konturr gempa tinggi yaitu aceh dan padang secara umum memiliki respons peripindahan yang lebih besar dibandingkan dengan daerah tanjung pinang dan pekanbaru. Hal ini mengindikasikan bahwa jenis tanah dan percepatan tanah terhadap gempa menentukan respons struktur pada jembatan tersebut.

KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini antara lain adalah: (a) nilai perpindahan dan percepatan maksimum untuk suatu lokasi untuk daerah Aceh, Padang, Tanjung Pinang dan Pekanbaru dipengaruhi oleh jenis tanah pada lokasi tersebut. Nilai Maksimum terjadi pada tanah sedang dan tanah Lunak. Sedangkan nilai minimum terjadi pada tanah keras; (b) respons Struktur perpindahan dan percepatan terbesar terjadi di Padang yaitu untuk nilai perpindahan sebesar 0,016267 m dan percepatan sebesar 0,0235 m. Sedangkan untuk nilai respons struktur terkecil; (c) respons struktur terkecil terjadi di kota Tanjung Pinang yaitu perpindahan sebesar 0,01552 m dan percepatannya sebesar 0,0208 m.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Kemenristek Dikti yang telah mendukung melalui program hibah Penelitian Kerja Sama Perguruan Tinggi Tahun 2019-2020. Serta Prodi Teknik Sipil Universitas Lancang Kuning.

REFERENSI

[1] T. BMS, "Bridge Management System," p. 1, 1993.

[2] W. Apriani, S. W. Megasari, W. Alrisa, and P. Loka, "Penilaian Jembatan Rangka Baja Transfield Australia Dengan Metode Fracture Critical Member (Studi Kasus : Jembatan Siak 2 Pekanbaru)," no. September, pp. 18-19, 2018.

[3] R. Suryanita and A. Adnan, "Application of Neural Networks in Bridge Health Prediction based on Acceleration and Displacement Data Domain Application of Neural Networks in Bridge Health Prediction based on Acceleration and Displacement Data Domain," vol. I, no. February 2016, pp. 4-9, 2013.

[4] Mardiyono, R. Suryanita, and A. Adnan, "Intelligent monitoring system on prediction of building damage index using neural-network," *TELKOMNIKA (Telecommunication Comput. Electron. Control.*, vol. 10, no. 1, pp. 155-164, 2012.

[5] R. Suryanita, "The Application of Artificial Neural Networks in Predicting Structural Response of Multistory Building in The Region of Sumatra Island," *KnE Eng.*, vol. 1, no. 2015, pp. 1-6, 2016.

[6] R. Suryanita, H. Maizir, and H. Jingga, "Prediction of Structural Response due to Earthquake Load using Artificial Neural Networks," *Int. Conf. Eng. Technol. Comput. Basic Appl. Sci. ECBA, 2016, Osaka, Japan*, vol. 182, no. 4, 2016.

[7] Mardiyono, R. Suryanita, and A. Adnan, "Intelligent monitoring system on prediction of building damage index using neural-network," *TELKOMNIKA (Telecommunication Comput. Electron. Control.*, vol. 10, no. 1, pp. 155-164, 2012.

[8] J. Brownjohn, "Structural Health Monitoring of the Tamar Bridge," *Vce.At*, pp. 465-490, 1961.

[9] J.-J. Lee and C.-B. Yun, "Damage localization for bridges using probabilistic neural networks," *KSCE J. Civ. Eng.*, vol. 11, no. 2, pp. 111-120, 2008.

[10] S. Tohidi and Y. Sharifi, "A new predictive model for restrained distortional buckling strength of half-through bridge girders using artificial neural network," *KSCE J. Civ. Eng.*, vol. 20, no. 4, pp. 1392-1403, 2016.

[11] P. H. a Nababan, "Structural Health Monitoring System Alat Bantu Mempertahankan Usia Teknis Jembatan," *Constr. Maint. main span Suramadu Bridg.*, pp. 1-2, 2008.

[12] N. M. Apaydin, A. C. Zulfikar, and H. Alcik, "Introduction of Bogazici Suspension Bridge Structural Health Monitoring System," *15th World Conf. Earthq. Eng.*, 2012.

[13] M. Mehrjoo, N. Khaji, H. Moharrami, and A. Bahreininejad, "Damage detection of truss bridge joints using Artificial Neural Networks," *Expert Syst. Appl.*, vol. 35, no. 3, pp. 1122-1131, 2008.

[14] Z. Chen, X. Zhou, X. Wang, L. Dong, and Y. Qian, "Deployment of a smart structural health monitoring system for long-span arch bridges: A review and a case study," *Sensors (Switzerland)*, vol. 17, no. 9, 2017.

[15] D. S. Shan, P. Yan, and Z. H. Wang, "Intelligent Health Monitoring System for a Railway Cable-Stayed Bridge," *Adv. Mater. Res.*, vol. 148-149, no. 1, pp. 1390-1393, 2010.

[16] N. D. Lagaros and M. Papadrakakis, "Neural network based prediction schemes of the non-

linear seismic response of 3D buildings,” *Adv. Eng. Softw.*, vol. 44, no. 1, pp. 92–115, 2012.

[17] D. Shyam, G. B. L. Chowdary, and D. R. Mahapatra, “Structural Damage Identification Using Artificial Neural Network and Synthetic data.”

[18] S. Ok, W. Son, and Y. M. Lim, “A study of the use of artificial neural networks to estimate dynamic displacements due to dynamic loads in bridges,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 382, no. 1, 2012.

[19] A. S. Fahmy, M. E. T. El-Madawy, and Y. Atef Gobran, “Using artificial neural networks in the design of orthotropic bridge decks,” *Alexandria Eng. J.*, vol. 55, no. 4, pp. 3195–3203, 2016.

[20] S. Kim, “Experimental investigation of local damage detection on a 1/15 scale model of a suspension bridge deck,” *KSCE J. Civ. Eng.*, vol. 7, no. 4, pp. 461–468, 2008.

[21] W. F. Darmawan, R. Suryanita, and Z. Djauhari, “Evaluasi Kesehatan Struktur Bangunan berdasarkan Respon Dinamik Berbasis Data Akselerometer,” *Media Komun. Tek. Sipil*, vol. 23, no. 2, p. 142, 2017.

[22] R. Suryanita, “Prediksi Kerusakan Model Jembatan Beton Bertulang Berdasarkan Mutu Beton dengan Metode Jaringan Saraf Tiruan,” no. November, pp. 368–375, 2015.

[23] A. C. Neves, I. González, J. Leander, and R. Karoumi, “Structural health monitoring of bridges: a model-free ANN-based approach to damage detection,” *J. Civ. Struct. Heal. Monit.*, vol. 7, no. 5, pp. 689–702, Nov. 2017.

[24] M. Lydon, S. E. Taylor, D. Robinson, A. Mufti, and E. J. O. Brien, “Recent developments in bridge weigh in motion (B-WIM),” *J. Civ. Struct. Heal. Monit.*, vol. 6, no. 1, pp. 69–81, 2016.



This is an open access article which means that all content is freely available without charge to the user or his/her institution. Jurnal Saintis allows the author(s) to hold the copyright without restriction. The copyright in the text of individual articles (including research article, opinion articles, and abstracts) is the property of their respective authors distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License

(<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>) which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium. Users are allowed to read, download, copy, distribute, search, or link to full-text articles in this journal without asking by giving appropriate credit, provide a link to the license, and indicate if changes were made.

This page is intentionally blank