

ANALISIS SEISMIC DESAIN JEMBATAN KRETEK 2 DIY DENGAN PERANGKAT LUNAK CSI BRIDGE V.24

Rachmat Dwi Santoso¹, Arie Taveriyanto²

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang
Email: rachmatdwisantoso@students.unnes.ac.id

²Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang
Email: arietaveriyanto@mail.unnes.ac.id

ABSTRAK

Perencanaan struktur jembatan pada daerah yang memiliki resiko kegempaan yang tinggi harus memperhatikan kemampuan struktur untuk merespon beban gempa. Struktur jembatan dapat di analisis dengan berbagai macam metode, salah satu metode yang kerap digunakan dalam analisis jembatan terhadap beban gempa adalah metode respon spektrum. Pada penelitian kali ini akan meninjau struktur jembatan dengan studi kasus pembangunan jembatan Kretek 2 DIY dengan tujuan untuk mengetahui bagaimana respon struktur atas jembatan jika dikenai beban gempa. Analisis menggunakan metode respon spektrum berdasarkan SNI 2833-2016 tentang perencanaan jembatan terhadap beban gempa. Struktur jembatan akan dimodelkan secara tiga dimensi dengan bantuan software *CSI Bridge V.24* menggunakan data eksisting jembatan Kretek 2 DIY. Dari hasil analisis yang dilakukan dengan *seismic design CSI Bridge V.24* didapatkan beberapa data output seperti nilai displacement, geser, momen. Dari analisis *seismic design* didapatkan nilai RDC (*ratio demand capacity*) maksimal pada pilar 1 (span1) dengan nilai 0,9774 untuk nilai permintaan 0,1550 dan kapasitas 0,1586.

Kata Kunci: *ratio demand capacity, respon spektrum, displacement*

ABSTRACT

Planning of bridge structures in areas that have a high risk of seismicity must pay attention to the structure's ability to respond to earthquake loads. Bridge structures can be analyzed with various methods, one of the methods that are often used in bridge analysis to earthquake loads is the spectrum response method. In this study, we will review the bridge structure with a case study of the kretek 2 DIY bridge construction with the aim of knowing how the upper structure of the bridge responds if it is subjected to earthquake loads. The analysis uses a spectrum response method based on SNI 2833-2016 on bridge planning to earthquake loads. The bridge structure will be modeled in three dimensions with the help of *CSI Bridge V.24* software using the existing kretek 2 DIY bridge data. From the results of the analysis carried out with *the CSI Bridge V.24 seismic design*, several output data were obtained such as displacement, shear, moment values. From *the seismic design* analysis, the maximum RDC (*ratio demand capacity*) value was obtained on pillar 1 (span1) with a value of 0.9774 for a demand value of 0.1550 and a capacity of 0.1586.

Keywords: *ratio demand capacity, spectrum response, displacement*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara dengan kasus gempa yang tergolong tinggi. Menurut data gempa, yang didapat Negara Indonesia memiliki rata-rata aktivitas gempa tektonik adalah sebanyak 6.512 kejadian per tahunnya, 543 kejadian per bulannya dan 18 kejadian gempa per harinya. (Sabtaji, 2020).

Dari data tersebut maka perlu adanya tinjauan khusus terhadap pengaruh beban gempa pada bangunan struktur yang ada.

Perencanaan struktur jembatan terhadap beban gempa adalah bagian penting dalam rangka perencanaan konstruksi jembatan (SNI 2833:2016). Terlebih jika lokasi pembangunan jembatan berada di wilayah dengan intensitas gempa yang tergolong

tinggi. Dalam pembangunan jembatan Kretek 2 yang dilaksanakan di desa Karang, Tirtohargo, Kec. Kretek, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Lokasi ini terdapat sesar Opak yang merupakan salah satu sesar aktif yang melintang di wilayah Yogyakarta, sehingga berpotensi terjadi gempa bumi dan pergerakan tanah (Pejabat Pembuat Komitmen (PPK) 1.4 Provinsi DIY, Julian Sitomorang pada Kompas.com :2021)

Untuk menganalisis struktur jembatan terhadap beban gempa dapat dilakukan dengan 2 metode yaitu metode riwayat waktu, dan metode respon spektrum. Pada analisis ini akan menggunakan analisis seismic dengan bantuan perangkat lunak CSI Bridge v21, menggunakan metode respon spektrum. Maksud dan tujuan disusunnya analisis ini untuk mengetahui bagaimana seismic design Jembatan Kretek 2 dengan menggunakan program CSI Bridge 21, mengetahui deformasi, dan kelayakan struktur jembatan Kretek 2 akibat beban gempa.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Menurut Daniel L. Schodek dalam (Hariyanto, 2011), gempa bumi dapat terjadi karena fenomena getaran maupun kejutan pada kerak bumi. Faktor utama penyebab gempa adalah gesekan kerak bumi yang mempengaruhi permukaan bumi. Gempa bumi menjalar dalam bentuk gelombang yang berpengaruh pada permukaan bumi serta bangunan di atasnya, hal ini menimbulkan gaya-gaya yang bekerja pada struktur.

Pada SNI 2833:2016, perencanaan struktur jembatan terhadap beban gempa adalah bagian penting dalam rangka perencanaan konstruksi jembatan

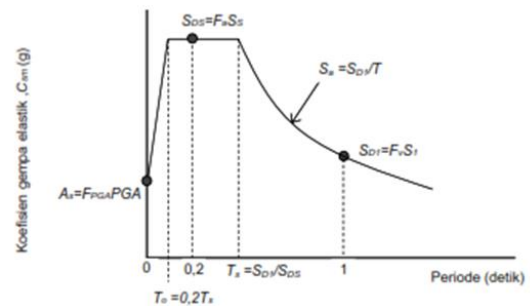
Menurut (Lee Marsh et al., 2014), sangat penting bagi keberhasilan desain struktur jembatan untuk menampung permintaan (demand). Kapasitas jembatan untuk menahan beban yang diminta dapat dinyatakan pada rumusan berikut:

$$\frac{Demand}{Capacity} < 1,0 \quad (1)$$

Terdapat dua metode analisis umum yang biasa digunakan dalam analisis jembatan terhadap beban gempa seperti, analisis statik ekuivalen dan analisis dinamik. Analisis dinamik yang sering digunakan dalam analisis jembatan terhadap gempa adalah analisis respon spektrum dan analisis riwayat waktu. Adapula metode analisis yang juga kerap digunakan untuk mengetahui respon jembatan terhadap beban gempa secara visual, yaitu analisis pushover.

3. METODOLOGI

Dalam penelitian ini akan menggunakan metode respon spektrum. Respon spektrum adalah grafik yang menampilkan hubungan antara periode getaran struktur (T) dengan respon struktur maksimal saat mengalami getaran akibat gempa, grafik respon spektrum dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Grafik Respon Spektrum

Dalam penentuan grafik respon spektrum terdapat beberapa tahapan, yaitu sebagai berikut.

1. Menentukan parameter respon spektrum percepatan gempa berupa nilai PGA, nilai Ss, dan nilai S1 pada peta gempa indonesia 2010.
2. Menentukan kelas situs berdasarkan karakteristik tanah.
3. Menentukan faktor amplifikasi berupa faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada batuan dasar (FPGA) faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili periode getaran 0,2 detik (Fa) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili periode getar 1,0 detik (Fv).

4. Menghitung koefisien percepatan awal muka tanah untuk periode 0 detik (As), periode pendek (SDS), periode 1,0 detik (SD1) dengan **Pers. 2, 3, dan 4.**

$$As = FPGA \times PGA \quad (2)$$

$$SDS = Fa \times Ss \quad (3)$$

$$SD1 = Fv \times S1 \quad (4)$$

5. Menentukan koefisien respon gempa elastic berupa nilai periode percepatan puncak awal (T0) dan periode percepatan puncak akhir (Ts) dengan **Pers. 5, dan Pers. 6.**

$$T0 = 0,2 Ts \quad (5)$$

$$Ts = \frac{SD1}{SDS} \quad (6)$$

Untuk periode lebih kecil dari nilai T_0 , koefisien respons gempa elastik (C_{sm}) didapatkan dari pers. 7.

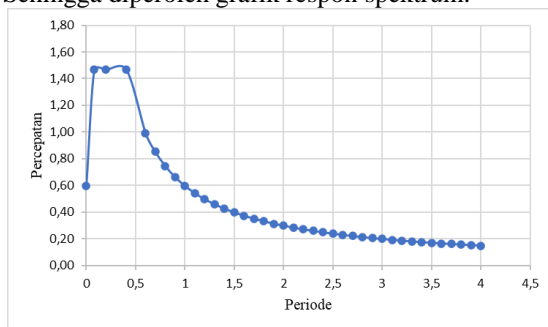
$$C_{sm} = (SDS - A_s) \frac{SD1}{T} + A_s \quad (7)$$

Untuk periode lebih besar atau sama dengan T_0 , dan lebih kecil atau sama dengan T_s , koefisien respons gempa elastik (C_{sm}) didapatkan dari pers. 7 $C_{sm} = S_{ds}$ (7)

Untuk periode lebih besar dari T_s , koefisien respons gempa elastik (C_{sm}) didapatkan dari pers. 8

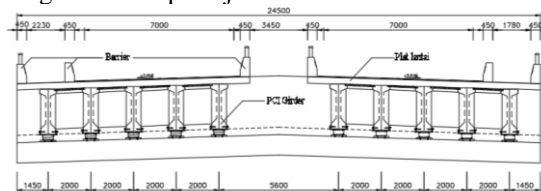
$$C_{sm} = \frac{SD1}{T} \quad (8)$$

Sehingga diperoleh grafik respon spektrum:



Gambar 2 Grafik Respon Spektrum Yogyakarta

Tahapan selanjutnya adalah tahap analisis struktur jembatan dengan menggunakan software CSI Bridge. Analisis yang digunakan adalah analisis seismic design dimana bertujuan untuk mengetahui respon struktur atas jembatan terhadap beban gempa. Tahapan awal permodelan dilakukan dengan mendefinisikan *layout line*, *line* sebagai jalur distribusi beban kendaraan (lajur lalu lintas) dan dilanjutkan dengan mendefinisikan material dan jenis penampang yang akan digunakan sesuai dengan elemen pada jembatan.



Gambar 3 Potongan Melintang Jembatan Kretek 2

Adapun data jembatan Kretek 2 yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Tipe konstruksi = Jembatan balok I girder
2. Jumlah lajur = 2 lajur
3. Panjang Jembatan = 344 meter
4. Lebar Jembatan = 24,5 meter

5. Lebar jalur lalu-lintas = 14 meter
6. Tebal slab = 0,3 meter
7. Jenis Pondasi = Bored pile
8. Panjang Balok = 40,8 meter
9. Jarak antar balok = 2 meter
10. Tebal aspal = 0,04 meter
11. Tinggi genangan air = 4,65 meter
12. Tipe gelagar = PCI Girder
13. Mutu beton = $f_c'35$
14. Modulus elastisitas = 27805,6
15. Tinggi PCI girder = 2,1 meter
16. Strand diameter = 12,71 mm
17. Strand area = 98,71 mm²
18. Modulus elastisitas = 196000 MPa
19. Kuat tarik ultimit, f_{pu} = 1860 MPa
20. Kuat tarik leleh, f_{py} = 1600 Mpa

Selanjutnya yaitu tahapan menentukan *deck sections*, diafragma, bearing, pondasi, tiang jembatan pada menu *substructure*. Dilanjutkan dengan melakukan input beban jembatan seperti beban permanen, beban lalu lintas, dan beban aksi lingkungan. Perhitungan beban-beban dilakukan dengan berpedoman pada SNI 1725 tahun 2016, dan SNI 2833 tahun 2016. Untuk kombinasi beban yang akan digunakan untuk mengetahui respon jembatan (displacement) akan digunakan kombinasi beban $1MS + 1MA + 1,8TT + 1,8TB + 1,8TD + 1,8TP$.

Adapun beban yang input pada aplikasi CSI Bridge yaitu sebagai berikut:

1. Beban sendiri struktur (MS)

Beban sendiri struktur termasuk beban yang di perhitungkan secara otomatis oleh software CSI Bridge. Dalam perhitungan beban diperlukan data berat jenis dari beberapa

 - a. Beton bertulang = 25 kN/m³
 - b. Beton tidak bertulang = 24 kN/m³
 - c. Aspal = 22 kN/m³
 - d. Air = 9,8 kN/m³
2. Beban Sendiri Struktur Tambahan (MA)
 - a. Beban lapisan aspal
 $QA = 0,04m \times 7m \times 24 \text{ kN/m}^3 = 6,72 \text{ kN/m}$
 - b. Beban barrier
 $QB = 0,36 \text{ m}^2 \times 25 \text{ kN/m}^3 = 9 \text{ kN/m}$
 - c. Beban air hujan
 $QAH = 0,02m \times 10,9m \times 9,8 \text{ kN/m}^3 = 2,136 \text{ kN/m}$
3. Beban lalu lintas
 - a. Beban lajur
Beban terbagi merata untuk bentang jembatan 40,8 meter

$q_{BTR} = 9,0 [0,5 + (15/40,8)] = 7,809 \text{ kN/m}^2$
Beban garis terpusat yang digunakan adalah 49 kN/m dengan faktor beban dinamis 0,4.

b. Beban pejalan kaki
Beban pejalan kaki yang digunakan adalah 5 kN/m²

c. Beban truk
Menggunakan faktor beban dinamis 0,4, dengan beban roda depan 1 roda 25 kN, maka beban roda depan truk:
 $PT1 = (1+0,4) \times 25 = 35 \text{ kN}$

Beban roda tengah dan belakang 112,5 kN, maka beban roda belakang truk:
 $PT2 = (1+0,4) \times 112,5 = 157,5 \text{ kN}$

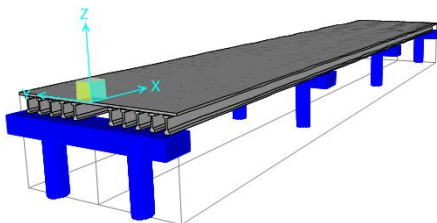
d. Beban rem
Beban rem termasuk pada beban momen dikarenakan bekerja pada jarak 1,8 meter di atas permukaan lantai jembatan. Beban rem yang bekerja adalah 51,199 kN

4. Beban aksi lingkungan

a. Beban angin
Beban angin diaplikasikan dengan melakukan input data elevasi struktur gelagar dari permukaan tanah, dan input data kecepatan angin rencana, kecepatan angin rencana diambil 100 kph.

b. Beban gempa
Beban gempa diaplikasikan dengan input data respon spektrum pada aplikasi CSI Bridge. Data respon spektrum berupa periode dan percepatan gempa dapat di lihat pada **Gambar 1**.

Selanjutnya adalah tahapan merangkai objek jembatan dengan mengatur komponen yang telah didefinisikan sesuai letak pada posisi masing-masing pada satu kesatuan struktur. Adapun yang dilakukan seperti pengaturan pilar, girder, tendon, dan perletakan beban yang sebelumnya telah diatur.



Gambar 4 Permodelan Jembatan Dengan Software CSI Bridge V.24

Tahapan inti yaitu *run analisis* yang dilanjutkan analisis *seismic design*. Pada tahapan

ini harus mendefinisikan *design request* yang diinginkan lalu dilanjutkan melakukan *run seismic*.

4. HASIL DAN DISKUSI

Pada penelitian ini akan menganalisis perilaku struktur jembatan akibat beban gempa dengan fasilitas seismic design analisis metode respon spektrum pada software CSI Bridge v21 . Dari analisis yang dilakukan akan didapatkan beberapa data output gaya dalam yang akan di tinjau yaitu, nilai Rasio Demand Capacity (RDC), displacement, gaya lintang, dan momen.

Rasio Demand Capacity (RDC)

Salah satu data output yang dihasilkan dari analisis *seismic design* yaitu nilai *rasio demand capacity*.

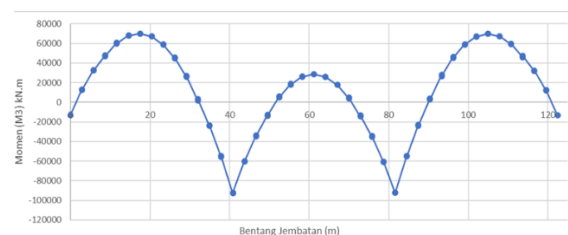
Tabel 1 Nilai Ratio Demand Capacity

Span Name	STA	Direction	Demand	Capacity	DC Ratio
Text	m	Text	m	m	Unitless
Start	0	TRANS	0,0266	0,1063	0,25
Start	0	LONG	0,0542	0,1822	0,2974
Span 1	40,8	TRANS	0,0377	0,1087	0,3467
Span 1	40,8	LONG	0,1550	0,1586	0,9774
Span 2	81,6	TRANS	0,0373	0,1087	0,3435
Span 2	81,6	LONG	0,1550	0,1589	0,9756
End	122	TRANS	0,0256	0,1024	0,25
End	122	LONG	0,0544	0,1828	0,2973

Dari data di atas ditampilkan nilai demand dan kapasitas struktur pada setiap bentang. Nilai RDC terbesar pada pilar 1 (span1) dengan nilai 0,9774 untuk nilai permintaan 0,1550 dan kapasitas 0,1586. Nilai RDC struktur atas hasil analisis seismic design tergolong aman dikarenakan tidak melebihi syarat yaitu tidak lebih dari 1,0.

4.1 Momen

Data output momen yang bekerja pada struktur atas jembatan terlihat pada **Gambar 5**.

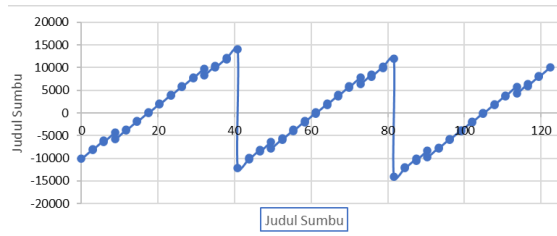


Gambar 5 Grafik Momen (M3)

Besar momen maksimal yaitu 70186,4451 kNm pada bentang 17,48571 meter.

4.2 Gaya geser

Data gaya geser yang bekerja pada struktur jembatan terlihat pada **Gambar 6**



Gambar 6 Grafik Gaya Geser (V2)

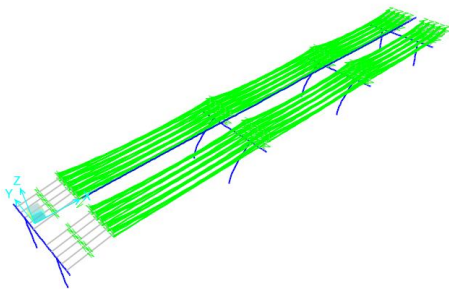
Nilai gaya geser (V2) pada 3 bentang yang memiliki nilai maksimal yaitu 13992,089 kN pada bentang 40,8 meter.

4.3 Displacement

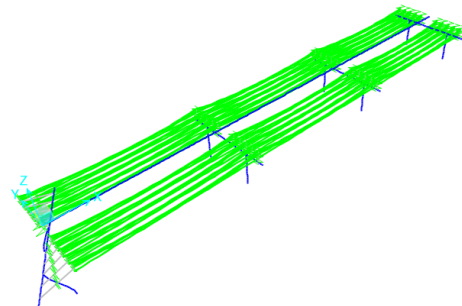
Data displacement ditinjau melalui output data joint displacement yang terjadi pada 3 jenis kasus beban, yaitu kasus beban modal, respon spektrum, untuk mengetahui displacement yang terjadi akibat beban gempa dan kasus beban pushover untuk mengetahui displacement maksimal yang bisa di terima struktur.

- Kasus beban “Modal”

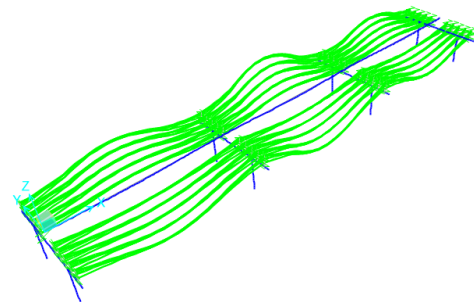
Pada kasus beban ini analisis menghasilkan 18 *deformed shape mode* yang terjadi pada struktur jembatan dengan nilai periode dan frekuensi yang berbeda.



Gambar 7 deformed shape mode 1



Gambar 8 deformed shape mode 14

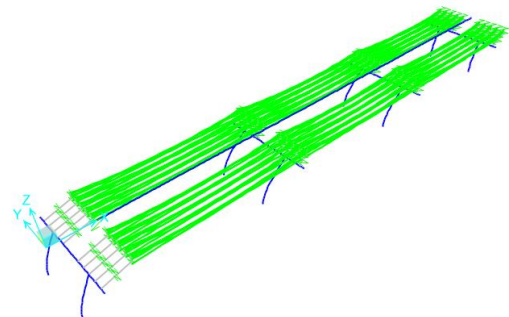


Gambar 9 deformed shape mode 14

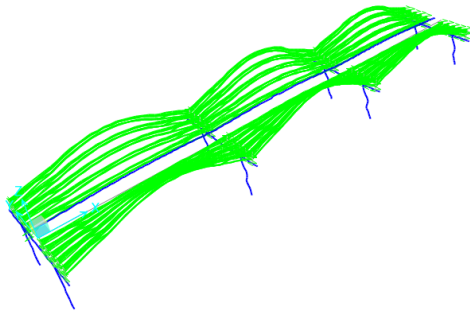
Joint displacement terbesar pada arah X sebesar 0,0069 pada *deformed shape mode* 11, *joint displacement* terbesar arah sumbu Y sebesar 0,0065 pada *deformed shape mode* 14, dan *joint displacement* terbesar arah sumbu Z sebesar 0,037 pada *deformed shape mode* 14.

- Kasus beban “Respon Spektrum”

Pada kasus beban ini analisis terdiri dari respon spektrum arah X, respon spektrum arah Y, dan respon spektrum gabungan 2 arah, arah X dan Y dengan faktor yang disesuaikan dengan kombinasi beban gempa, yaitu $1EQX + 0,3EQY$, dan $0,3EQX + 1EQY$.



Gambar 10 deformed shape mode X

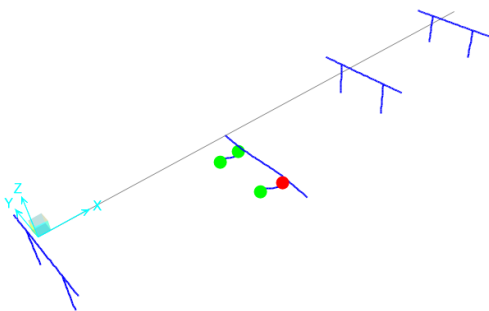


Gambar 11 deformed shape mode Y

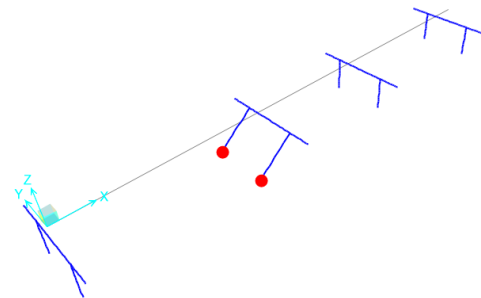
Joint displacement terbesar yang terjadi pada arah X sebesar 0,153144 pada deformed shape mode XY, joint displacement terbesar arah sumbu Y sebesar 0,048966 pada deformed shape mode Y, dan joint displacement terbesar arah sumbu Z sebesar 0,099181 pada deformed shape mode XY.

• Kasus beban “Nonlinier Static”

Kasus beban ini adalah analisis pushover pada jembatan yang dilakukan pada struktur pilar. Dilakukan pada arah transversal (tegak lurus) dan arah longitudinal (searah) dengan pemberian gaya pembebanan hingga struktur mencapai batas displacement yang dapat di terima struktur. Pada kasus ini dilakukan 52 pola pembebanan.



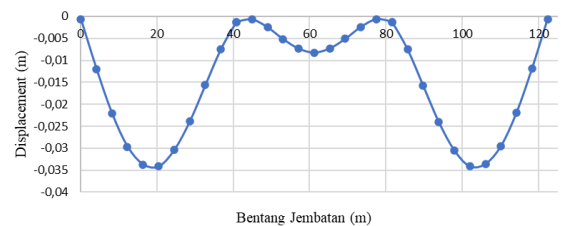
Gambar 12 deformed shape mode transversal pada pilar 2



Gambar 13 deformed shape mode longitudinal pada pilar 2

Besar displacement maksimal yang dapat terjadi pada struktur pilar jembatan kereta 2 yaitu pada arah sumbu X sebesar 0,463559 pada deformed shape arah longitudinal pilar 2, pada arah sumbu Y sebesar 0,000001441 pada deformed shape arah longitudinal pilar 2, dan pada arah sumbu Z sebesar 0,005607 pada deformed shape arah transversal pilar 2.

Untuk displacement yang terjadi pada gelagar dapat dilihat pada gambar 7



Gambar 14 Grafik Displacement

Grafik diatas menampilkan nilai displacement pada 3 bentang yang memiliki nilai maksimal yaitu 0,034138 m pada bentang 20,4 meter. Batas displacement tidak boleh melampaui $L/800$. Untuk jembatan Kretek 2 dengan bentang jembatan utama sebesar 344 meter, maka displacement yang diizinkan tidak lebih dari 0,4300625 meter.

5. KESIMPULAN

Setelah dilakukan analisis seismic design pada jembatan Kretek 2, didapat kesimpulan sebagai berikut.

1. Analisis *seismic design* dengan program *CSI Bridge* memberikan kemudahan dalam menganalisis struktur jembatan terhadap beban gempa dengan berbagai analisis beban seperti analisis modal (beban gravitasi), analisis respon spektrum, dan analisis pushover.
2. Analisis respon spektrum menunjukkan bahwa displacement terbesar untuk arah X sebesar 0,153144 meter, terbesar untuk arah Y sebesar

0,048966 meter, terbesar untuk arah Z sebesar 0,099181 meter.

Sedangkan analisis pushover yang dilakukan pada struktur pilar menunjukkan bahwa displacement maksimal yang dapat diterima struktur pilar jembatan yaitu untuk arah X sebesar 0,463559 meter, arah Y sebesar 0,000001441 meter, dan arah Z sebesar 0,005607 meter.

3. Dari analisis *seismic design* yang dilakukan dapat dilihat melalui data *output rasio demand capacity* (RDC), yang memiliki nilai terbesar pada pilar 1 (span1) dengan nilai 0,9774. Struktur tergolong aman dikarenakan tidak melebihi syarat yaitu tidak lebih dari 1,0.

DAFTAR PUSTAKA

- Dewobroto, W. (2005). Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisa Pushover. *Seminar Bidang Kajian*, 28.
http://blog.ub.ac.id/bagoestif/files/2010/03/wiryanto_di_soegijapranata.pdf
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2021. *Panduan Praktis Perencanaan Teknis Jembatan*, Bina Marga.
- Hariyanto, A. (2011). *Analisis Kinerja Struktur Pada Bangunan Bertingkat Tidak Beraturan Dengan Analisis Dinamik Menggunakan Metode Analisis Respons Spektrum*. 89, 1–72.
- Lee Marsh, M., Buckle, I. G., & Kavazanjian, E. (2014). *LRFD Seismic Analysis and Design of Bridges - Reference Manual. FHWA-NHI-15-004*, 608.
- Nugroho, S. C. (2019). Pusat Studi Gempa Bumi Di Kabupaten Bantul. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Pangestu, I. M. S. W. (2017). Analisis Statik Non-Linier Pushover Pada Optimalisasi Desain Gedung Pendidikan Bersama FKUB Dengan Variasi Konfigurasi Bresing Baja. *Jurusan Teknik Sipil*.
- Sabtaji, A. (2020). Statistik kejadian gempa bumi tektonik tiap provinsi di wilayah Indonesia selama 11 tahun pengamatan (2009-2019). *Buletin Meteorologi, Klimatologi, Dan Geofisika*, 1(7), 31–34.
- Shapiro, D., Rojahn, C., Reaveley, L. D., Smith, J. R., & Morelli, U. (2000). NEHRP Guidelines and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings. *Earthquake Spectra*, 16(1), 227–239.
<https://doi.org/10.1193/1.1586092>