



Terbit online pada laman web jurnal : <http://jurnal.sttp-yds.ac.id>

SAINSTEK (e-Journal)

| ISSN (Print) 2337-6910 | ISSN (Online) 2460-1039 |



Struktur

Analisis Respons Struktur Jembatan Beton Prategang *Box Girder*

Maharani Miranda^a, Reni Suryanita^b, Enno Yuniarto^c

^aJurusan Teknik Sipil Universitas Riau, Tampan, Pekanbaru 28292, Indonesia

^bJurusan Teknik Sipil Universitas Riau, Tampan, Pekanbaru 28292, Indonesia

^cJurusan Teknik Sipil Universitas Riau, Tampan, Pekanbaru 28292, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Diterima Redaksi: 03 September 2019

Revisi Akhir: 03 Desember 2019

Diterbitkan Online: 28 Desember 2019

KATA KUNCI

Jembatan beton prategang *box girder*

Pilar

Respons struktur

Perpindahan

Midas Civil V2.2

KORESPONDENSI

Telepon: "+62 812-6177-2826"

E-mail: maharani.miranda@student.unri.ac.id

ABSTRACT

Meningkatnya kasus kerusakan jembatan di Indonesia mengartikan bahwasanya struktur jembatan di Indonesia masih banyak yang belum mampu berfungsi secara optimal. Hal ini juga berkaitan dengan pengaruh Indonesia yang terletak pada jalur tektonik dan vulkanik aktif yang menyebabkan kerusakan struktur jembatan. Studi kasus untuk analisis ini menggunakan Jembatan Sungai Siak 2 dengan bentang 200 m dengan jumlah pilar sebanyak 2 buah. Pemilihan analisis ini dilakukan pada bagian pilar jembatan karena berdasarkan fakta bahwa kegagalan struktur pada pilar jembatan akan mengakibatkan kegagalan struktur jembatan secara keseluruhan. Analisis respons struktur jembatan beton prategang *box girder* bertujuan untuk mengidentifikasi besar nilai perpindahan struktur pada pilar jembatan terhadap beban gempa rencana. Sementara itu, analisis numerik respons struktur jembatan menggunakan perangkat lunak Midas Civil V2.2. Analisis respons struktur jembatan beton prategang *box girder* dilakukan berdasarkan tiga kondisi tanah, yaitu tanah keras, tanah sedang, dan tanah lunak. Pada hasil penelitian ini didapatkan nilai perpindahan pada pilar jembatan arah longitudinal untuk kondisi tanah keras sebesar 0,88 mm, tanah sedang sebesar 1,06 mm dan tanah lunak sebesar 1,39 mm. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa nilai perpindahan jembatan akibat beban gempa rencana pada kondisi tanah keras lebih kecil 21,4% dibanding pada kondisi tanah sedang dan lebih kecil 60,32% dibanding tanah lunak. Maka dari itu, hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai masukan kepada pihak pemerintah dan pihak terkait yang bergerak di bidang konstruksi jembatan, khususnya tipe jembatan *box girder* beton prategang di berbagai wilayah Indonesia, dengan memperhatikan respons struktur jembatan yang terjadi sesuai tingkat risiko kegempaan untuk setiap daerah.

1. PENDAHULUAN

Meningkatnya kebutuhan akan pembangunan jembatan di berbagai daerah di Indonesia, hampir sebanding dengan banyaknya jembatan yang dibangun namun tidak mampu mencapai umur rencananya, dikarenakan beberapa faktor seperti kondisi dari struktur jembatan yang cepat mengalami kerusakan yang diakibatkan pertumbuhan volume dan arus lalu lintas yang pesat dan tidak sesuai rencana. Menurut Buku Informasi Statistik (2017), pada tahun 2016, tercatat Indonesia memiliki 18.014 unit jembatan, namun sebanyak 61,59% jembatan di Indonesia tidak dalam kondisi baik dan rusak.

Selama ini beton yang biasa digunakan dalam pembuatan jembatan sangat rentan mengalami kerusakan dikarenakan sifat strukturnya yang kuat menahan gaya tekan tetapi lemah terhadap gaya tarik. Inovasi yang dihasilkan untuk menanggulangi masalah tersebut adalah dengan menambahkan tendon baja atau yang disebut dengan beton prategang dengan menggunakan gelagar yang umum digunakan, yaitu *box girder*.

Indonesia merupakan salah satu negara yang paling aktif secara seismik di muka bumi. Indonesia menempati zona tektonik yang sangat aktif karena tiga lempeng besar dunia serta lempeng-lempeng kecil lainnya saling bertemu di wilayah Indonesia. Keberadaan interaksi antar lempeng-lempeng ini menempatkan

wilayah Indonesia sebagai wilayah yang sangat rawan terhadap gempa (Badan Standarisasi Nasional, 2016).

Desain struktur bangunan yang ada di Indonesia di desain untuk dapat memikul serta mampu untuk meminimalisir resiko dari beban gempa. Perencanaan akan ketahanan terhadap beban gempa merupakan sesuatu yang fundamental dalam pembangunan konstruksi jembatan. Khusus untuk jembatan telah diatur dalam SNI 2833-2016 dimana standar ini digunakan untuk merencanakan struktur jembatan tahan gempa sehingga kerusakan terjadi setempat dan mudah diperbaiki, struktur tidak runtuh dan dapat dimanfaatkan kembali.

Sistem pier pada jembatan dapat berupa kolom tunggal atau majemuk atau dapat berupa dinding penuh. Pada peraturan SNI 2833-2016 tentang perancangan jembatan terhadap beban gempa, perbedaan sistem pier terdapat pada faktor modifikasi respon nilai gempa (R) yang dapat dikerahkan oleh masing-masing sistem atau subsistem struktur jembatan (Prasetya, 2017).

Di bagian barat Indonesia, proses penunjaman Lempeng Indo-Australia kedalam Lempeng Eurasia di barat Sumatra mengakibatkan kejadian gempa dengan nilai magnitudo 8 atau 9 sangat rentan terjadi. Sebagai contoh pada tahun 2004 gempa di Kota Banda Aceh dengan magnitudo 9.2 menyebabkan kerusakan pada 120 jembatan dengan kategori rusak berat (Kementerian PUPR, 2017). Hal ini mengakibatkan banyak akses menuju daerah kabupaten/ kota yang terputus akibat kerusakan tersebut sehingga pendistribusian kebutuhan material terganggu.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis kinerja percepatan gempa dengan tiga kondisi tanah yaitu tanah keras, sedang, dan lunak pada bagian pier jembatan. Pemilihan analisis pada bagian pier jembatan ini dilakukan berdasarkan fakta bahwa kegagalan struktur pada pier jembatan akan mengakibatkan kegagalan struktur jembatan secara keseluruhan. Analisis ini menggunakan statis nonlinier, yaitu menggunakan software MIDAS CIVIL agar jembatan yang direncanakan mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap gempa dan lebih ekonomis.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Jembatan

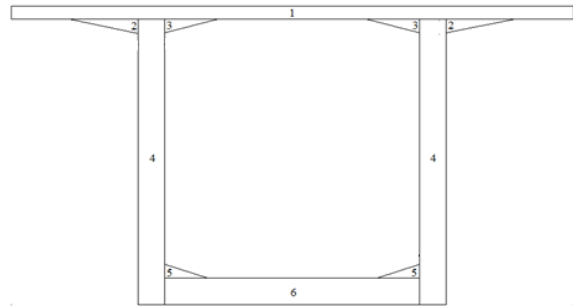
Jembatan adalah struktur bangunan yang berfungsi untuk menghubungkan lintasan yang terputus karena suatu rintangan seperti sungai, lembah, laut, jalan raya, ataupun perlintasan lainnya. Secara umum struktur jembatan terbagi menjadi dua bagian utama, yaitu struktur atas dan struktur bawah. Bagian struktur 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 (Wijaya et al., 2016).

2.1.1. Konsep Jembatan Box Girder

Keutamaan box girder adalah pada tahanan terhadap beban torsi. Hal ini membuat box girder merupakan pilihan yang tepat untuk jembatan dengan bentuk kurva. Girder dengan jenis box sangat

cocok digunakan untuk jembatan bentang panjang. Box girder biasanya didesain sebagai struktur menerus di atas pilar karena box girder dengan beton prategang dalam desain biasanya akan menguntungkan untuk bentang menerus. Box girder sendiri dapat berbentuk trapesium ataupun kotak (Prasetya, 2017). Jembatan box girder tersusun dari gelagar longitudinal dengan slab di atas dan di bawah yang berbentuk rongga (hollow) atau gelagar kotak.

Pada analisis ini gelagar jembatan yang digunakan adalah tipe box girder bentuk kotak pada Gambar 1. yang didesain untuk beton prategang yang memiliki bentang yang panjang, yaitu 200 meter.



Gambar 1 Box Girder Jembatan

2.1.2. Jembatan Beton Prategang

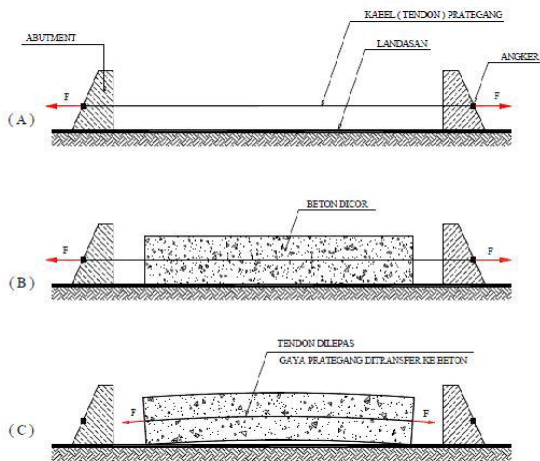
Menurut Manalip & Handono (2018), beton prategang merupakan beton bertulang yang telah diberikan tegangan tekan dalam untuk mengurangi tegangan tarik potensial dalam beton akibat beban kerja. Pada dasarnya ada dua macam metode pemberian gaya prategang menurut Budiadi (2008), pada beton prategang yaitu:

1. Pratarik (Pre-Tensioning)

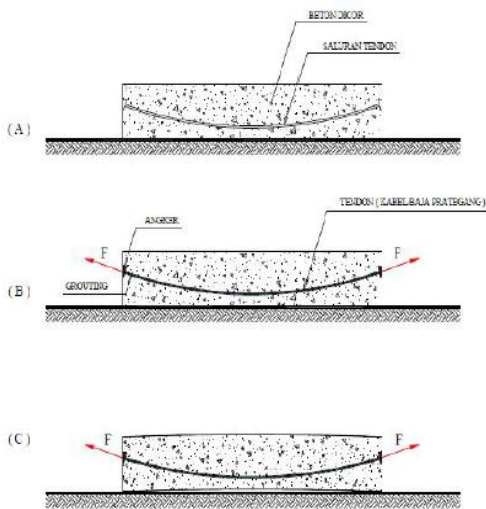
Pada metode ini baja prategang diberi gaya prategang terlebih dahulu sebelum dicor. Setelah beton mengering dan cukup umur kuat untuk menerima gaya prategang, tendon dipotong dan dilepas, sehingga gaya prategang ditransfer ke beton. Adapun prinsip dari pratarik secara singkat dapat dilihat pada Gambar 2.

2. Pascatarik (Post-Tensioning)

Pada metode ini dilakukan pengecoran terlebih dahulu kemudian dilanjutkan dengan baja prategang diberi gaya. Setelah beton mengering dan cukup umur kuat, tendon ditarik sehingga gaya prategang ditransfer ke beton. Adapun prinsip dari pascatarik secara singkat dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 2 Beton Prategang Menggunakan Metode Pratrarik



Gambar 3 Beton Prategang Menggunakan Metode Pascatarik

2.2. Respon Struktur Jembatan

Secara umum analisis struktur terhadap beban gempa terbagi ke dalam dua macam metode, yaitu analisis beban statik ekuivalen dan analisis dinamik. Analisis beban statik ekuivalen adalah suatu cara analisis struktur dimana pengaruh gempa pada struktur dianggap sebagai beban statik horizontal yang diperoleh dengan hanya memperhitungkan respon ragam getar yang pertama. Analisis dinamik adalah analisis struktur dimana pembagian gaya geser gempa di seluruh tingkat diperoleh dengan memperhitungkan pengaruh dinamis gerakan tanah terhadap struktur. Salah satu metode analisis dinamis yang dapat digunakan dalam menghitung ketahanan gempa yaitu analisis ragam spektrum respon.

2.3. Pembebanan Struktur Jembatan

Menurut Wijaya et al., 2016, pembebanan merupakan besarnya beban yang digunakan dalam perhitungan struktur agar tidak mengalami kehancuran selama umur jembatan. Adapun beban-beban yang harus dianalisis dalam suatu perencanaan jembatan terbagi atas tiga kelompok, yaitu beban permanen, beban lalu lintas, dan beban gempa.

2.3.1. Beban Permanen

Beban permanen terdiri dari berat sendiri dan beban mati tambahan.

1. Berat sendiri (selfweight) adalah berat bahan dan bagian jembatan yang terdiri dari elemen struktural seperti girder, pelat lantai, dan diafragma.
2. Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang menimbulkan suatu beban pada jembatan yang terdiri dari elemen non-struktural. Adapun beban mati tambahan yaitu aspal, trotoar, kerb, dan pagar pengaman.

2.3.2. Beban Lalu Lintas

Adapun untuk perencanaan beban lalu lintas pada jembatan terdiri dari beban lajur "D", beban truk "T", dan beban pejalan kaki

1. Beban lajur "D" terdiri dari beban terbagi merata (UDL) dan beban garis (KEL).
2. Beban truk "T" terdiri dari kendaraan truk semi-trailer yang mempunyai susunan dan beban as. Berat dari masing-masing as disebarkan menjadi 2 beban titik sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai.
3. Semua elemen dari trotoar atau jembatan penyeberangan yang langsung memikul pejalan kaki harus direncanakan untuk beban nominal sebesar 5 kPa.

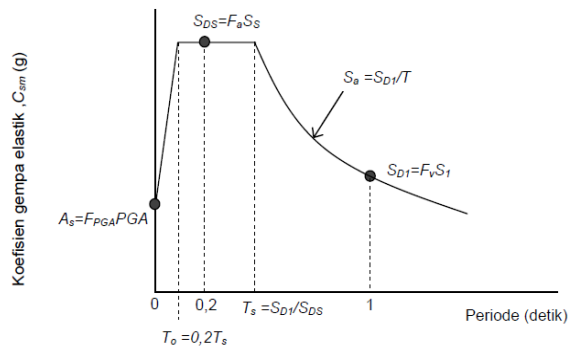
2.3.3. Beban Gempa

Beban gempa adalah beban yang bekerja pada suatu struktur akibat dari pergerakan tanah yang disebabkan karena adanya gempa bumi (baik itu gempa tektonik atau vulkanik) yang mempengaruhi struktur tersebut. Metode analisis beban gempa pada struktur jembatan terbagi menjadi 2, yaitu analisis dengan metode statik ekuivalen dan respons spektrum.

Pada penelitian ini, analisis gempa dibagi atas 3 kategori tanah, yaitu kategori jenis tanah keras, sedang, dan lunak berdasarkan nilai PGA dari daerah Pekanbaru. Untuk Kota Pekanbaru memiliki nilai PGA 0,214 g.

2.4. Pembebanan Struktur Jembatan

Berdasarkan SNI 2833-2016, 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 yang dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Bentuk Tipikal Respons Spektrum Gempa

2.5. Analisis Respon Spektrum Ragam

Analisis ragam (*modal analysis*) adalah analisis yang menentukan gerak struktur pada kondisi getaran bebas, dimana gerakannya hanya dipengaruhi oleh kondisi awal. Kondisi seperti ini jarang dijumpai namun, analisis ini memberikan sifat dinamis yang paling penting dari struktur yaitu periode natural dan pola perubahan bentuknya (*mode shapes*) (Zulfakar et al., 2016).

Analisis respons spektrum ragam adalah analisis struktur linear dinamik untuk memperoleh respons struktur maksimum yang telah memperhitungkan kontribusi ragam getar alami struktur yang lebih tinggi. Parameter respons struktur, yaitu perpindahan, kecepatan, dan percepatan merupakan fungsi dari periode getar struktur yang diperoleh dari analisis ragam (*modal analysis*) (Wijaya et al., 2016).

Persyaratan jumlah ragam telah diatur pada SNI 2833:2016 dimana jumlah ragam harus cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 90% dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal ortogonal dari respons yang ditinjau oleh model. Apabila belum mencukupi maka, jumlah ragam harus ditambah sampai memenuhi syarat partisipasi massa ragam.

Periode alami struktur menunjukkan tingkat kefleksibelan suatu struktur. Perlunya mengetahui periode alami struktur agar resonansi pada struktur dapat dihindari. Resonansi struktur adalah keadaan dimana frekuensi alami pada struktur sama dengan frekuensi beban luar yang bekerja sehingga mengakibatkan keruntuhan pada struktur. Analisis respons spektrum ragam harus dilakukan sebelum melakukan analisis respons spektrum gempa untuk memperoleh periode getar struktur.

2.1.1 Prosedur Analisis Respons Spektrum Ragam

Analisis respons spektrum ragam dilakukan dengan bantuan *software* Midas Civil V2.2. Prosedur analisisnya menurut (Jingga, et al., 2015) adalah sebagai berikut.

1. Memodelkan seluruh komponen struktur dalam program, yaitu terdiri dari struktur atas dan struktur bawah jembatan sesuai dengan dimensi dan spesifikasi material yang telah ditetapkan sebelumnya.
2. Memasukkan seluruh beban yang bekerja.

3. Menetapkan 100% beban mati (berat sendiri dan beban mati tambahan) sebagai *mass source* untuk analisis dinamik.
4. Mendefinisikan dan melakukan analisis ragam untuk memperoleh karakteristik getaran bebas struktur (periode getar, bentuk ragam, dan partisipasi massa). Analisis ragam dilakukan hingga bentuk ragam ke-88 menggunakan *ritz vectors*. *Ritz vectors* dipilih karena mampu menghasilkan partisipasi massa yang lebih tinggi dibandingkan *eigen vectors* dengan jumlah ragam yang sama.
5. Mendefinisikan fungsi spektrum respons percepatan desain (S_a vs T) berdasarkan grafik spektrum respons yang telah ditetapkan untuk 1 kota Pekanbaru dan 3 kondisi tanah, sehingga totalnya adalah 3 fungsi spektrum respons percepatan desain.
6. Memasukkan beban gempa spektrum respons berupa percepatan (*acceleration*) yang besarnya ditentukan oleh fungsi spektrum respons percepatan desain yang telah dimasukkan pada langkah ke-5. Percepatan gempa diberikan pada arah horizontal saja, tidak untuk vertikal.
7. Menjalankan analisis spektrum respons ragam dan menganalisis keluaran *software* Midas Civil V2.2 berupa respons struktur. Selain itu dari analisis ragam, karakteristik dinamik lainnya dari struktur dapat ditentukan, yaitu partisipasi massa, bentuk ragam, dan periode getar.

3. METODOLOGI

3.1. Data Struktur Jembatan

3.1.1. Geometri Jembatan

Pemodelan struktur jembatan mengacu pada studi kasus pembangunan jembatan box girder beton prategang SEI SIAK II (MYC) yang berada di Jalan Lintas Pekanbaru-Duri yang terletak di kawasan Kecamatan Rumbai, Kota Pekanbaru. Kabupaten Kampar dengan detail cross section ditampilkan pada Gambar 3.1

Data struktur jembatan yang dianalisis adalah sebagai berikut:

- | | |
|------------------------|--------------|
| 1. Tipe girder | = box girder |
| 2. Mutu beton girder | = $f_c'45$ |
| 3. Panjang total | = 200 meter |
| 4. Lebar total | = 10,6 meter |
| 5. Jumlah bentang | = 1 bentang |
| 6. Jumlah lajur | = 2 lajur |
| 7. Lebar lajur | = 5 meter |
| 8. Jumlah girder | = 51 buah |
| 9. Dimensi girder | = bervariasi |
| 10. Tebal pelat lantai | = 0,25 meter |
| 11. Kedalaman Pier | = 5 meter |

3.1.2. Geometri Jembatan

Dimensi komponen jembatan yang ditinjau adalah sebagai berikut.

Tabel 1 Dimensi Penampang Box Girder Jembatan Beton Prategang Palas Side

Segmen	Luas Rata – Rata	Panjang Segmen	Volume
	m ²		
L1	10,900	4,5	49,05
L2	10,431	3,5	36,51
L3	10,058	3,5	35,20
L4	9,716	3,5	34,01
L5	9,148	4	36,59
L6	8,597	4	34,39
L7	8,328	4	33,31
L8	8,101	4	32,40
L9	7,917	4	31,67
L10	7,774	4	31,10
L11	7,674	4	30,70
L12	7,616	4	30,46
LC	7,596	2,2	16,71
ML1	10,901	4,5	49,05
ML2	10,413	3,5	36,45
ML3	10,012	3,5	35,04
ML4	9,684	3,5	33,89
ML5	8,843	4	35,37
ML6	8,027	4	32,11
ML7	7,811	4	31,25
ML8	7,630	4	30,52
ML9	7,482	4	29,93
ML10	7,368	4	29,47
ML11	7,305	4	29,22
ML12	7,258	4	29,03
MLC	7,227	3	21,68

Tabel 2 Dimensi Penampang Box Girder Jembatan Beton Prategang Pekanbaru Side

Segmen	Luas Rata – Rata	Panjang Segmen	Volume
	m ²		
L1	10,900	4,5	49,05
L2	10,431	3,5	36,51
L3	10,058	3,5	35,20
L4	9,716	3,5	34,01
L5	9,148	4	36,59
L6	8,597	4	34,39
L7	8,328	4	33,31
L8	8,101	4	32,40
L9	7,917	4	31,67
L10	7,774	4	31,10
L11	7,674	4	30,70
L12	7,616	4	30,46
LC	7,596	2,2	16,71
ML1	10,901	4,5	49,05
ML2	10,413	3,5	36,45
ML3	10,012	3,5	35,04
ML4	9,684	3,5	33,89
ML5	8,843	4	35,37
ML6	8,027	4	32,11
ML7	7,811	4	31,25
ML8	7,630	4	30,52
ML9	7,482	4	29,93
ML10	7,368	4	29,47
ML11	7,305	4	29,22
ML12	7,258	4	29,03
MLC	7,227	3	21,68

3.1.3. Sifat Mekanik Material Struktur

- Beton Struktural dengan karakteristik:
 - Kuat tekan beton, $f_c' = 45$ Mpa
 - Modulus elastisitas, $E_c = 4700\sqrt{f_c'} = 4700\sqrt{45} = 31528,55848$ Mpa
- Baja Tendon dengan karakteristik:
 - Baja Struktur, BJ 37
 - Titik Leleh 240 Mpa
 - Modulus Elastisitas, $E = 200000$ Mpa
 - Jenis strands: uncoated 7 wire super strands ASTM A-416 grade 270
 - Diameter strands = 0,01270 m

Digunakan jumlah strands sebagai berikut:

ns1 = 11 tendon, 19 strands/ tendon = 209 strands dengan selubung tendon = 85 mm

ns2 = 11 tendon, 19 strands/ tendon = 209 strands dengan selubung tendon = 85 mm

3.2. Pembebanan Struktur Jembatan

3.2.1. Beban Permanen

- Berat sendiri box girder (QMS)
 - Berat box girder per m (QMS)
= Arata-rata $\times \gamma$

- = $9,224 \times 25,5$
 = $235,212 \text{ kN/m}$
- b. Gaya geser maksimum (VMS)
 = $10/8 \times \text{QMS} \times L$
 = $10/8 \times 235,212 \times 200$
 = $14974,84 \text{ kN}$
- c. Gaya Geser Maksimum di tepi
 = $\text{VMS} = 3/8 \times \text{QMS} \times L$
 = $3/8 \times 239,6 \times 50$
 = $4492,453 \text{ kN}$
- d. Momen + akibat berat sendiri (MS)
 = $\text{MMS}^+ = 9/128 \times \text{QMS} \times L^2$
 = $9/128 \times 239,6 \times 502$
 = $42116,75 \text{ kNm}$
- e. Momen - akibat berat sendiri (MS)
 = $\text{MMS}^- = 1/8 \times \text{QMS} \times L^2$
 = $1/8 \times 239,6 \times 502$
 = $74874,22 \text{ kNm}$
2. Berat mati tambahan (MA)
- a. Berat (aspal+air hujan) = $13,384 \text{ kN/m}$
- b. Gaya Geser Maksimum (MA)
 = $\text{VMA} = 10/8 \times \text{QMS} \times L$
 = $10/8 \times 13,384 \times 50$
 = $836,5 \text{ kN}$
- c. Gaya Geser Maksimum (MA) di tepi
 = $\text{VMA} = 3/8 \times \text{QMS} \times L$
 = $3/8 \times 13,384 \times 50$
 = $250,95 \text{ kN}$
- d. Momen+ akibat berat sendiri (MA)
 = $\text{MMA}^+ = 9/128 \times \text{QMS} \times L^2$
 = $9/128 \times 13,384 \times 502$
 = $2352,656 \text{ kNm}$
- e. Momen- akibat berat sendiri (MA)
 = $\text{MMA}^- = 1/8 \times \text{QMS} \times L^2$
 = $1/8 \times 13,384 \times 502$
 = $4182,5 \text{ kNm}$

3.2.2. Beban Permanen

1. Beban lajur pada girder:
 $\text{QTD} = q \times S \times \sqrt{YTD}$
 = $9,0 \times 4,8 \times 1,8$
 = $48,6 \text{ kN/m}$
 $\text{PTD} = (1 + \text{DLA}) \times p \times S \times \sqrt{YTD}$
 = $(1 + 0,3) \times 49,0 \times 4,8 \times 1,8$
 = $343,98 \text{ kN}$
2. Momen lentur maksimum:
 $\text{MTD} = (1/8 \times \text{QTD} \times L^2) + (1/4 \times \text{PTD} \times L)$
 = 260199 kNm
3. Gaya geser maksimum:
 $\text{VTD} = (1/2 \times \text{QTD} \times L) + \text{PTD}$
 = $5203,98 \text{ kN}$

3.2.3. Beban Gempa

1. Untuk tanah keras.
 $AS = FPGa \times PGA = 1.187 \times 0.213g = 0.253g$
 $SMS = Fa \times Ss = 1.2 \times 0.433g = 0.520g$
 $SM1 = Fv \times S1 = 1.526 \times 0.274g = 0.418g$
 $SDS = 2/3 \times SMS = 2/3 \times 0.520 = 0.346g$
 $SD1 = 2/3 \times SM1 = 2/3 \times 0.418 = 0.279g$

2. Untuk tanah sedang.
 $AS = FPGa \times PGA = 1.374 \times 0.213g = 0.293g$
 $SMS = Fa \times Ss = 1.453 \times 0.433g = 0.629g$
 $SM1 = Fv \times S1 = 1.851 \times 0.507g = 0.507g$
 $SDS = 2/3 \times SMS = 2/3 \times 0.629 = 0.419g$
 $SD1 = 2/3 \times SM1 = 2/3 \times 0.507 = 0.338g$
3. Untuk tanah lunak.
 $AS = FPGa \times PGA = 1.636 \times 0.213g = 0.348g$
 $SMS = Fa \times Ss = 1.913 \times 0.433g = 0.828g$
 $SM1 = Fv \times S1 = 2.903 \times 0.274g = 0.795g$
 $SDS = 2/3 \times SMS = 2/3 \times 0.828 = 0.552g$
 $SD1 = 2/3 \times SM1 = 2/3 \times 0.795 = 0.530g$

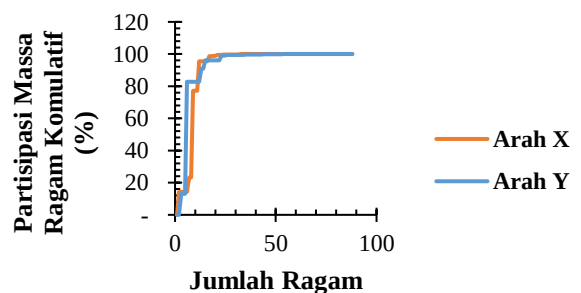
Menghitung parameter T0 dan Ts:

1. Untuk tanah keras.
 $T0 = 0.2 \times SD1/SDS$
 = $0.2 \times 0.279/0.346 = 0.161 \text{ detik}$
 $Ts = SD1/SDS$
 = $0.279/0.346 = 0.805 \text{ detik}$
2. Untuk tanah sedang.
 $T0 = 0.2 \times SD1/SDS$
 = $0.2 \times 0.338/0.419 = 0.161 \text{ detik}$
 $Ts = SD1/SDS$
 = $0.338/0.419 = 0.806 \text{ detik}$
3. Untuk tanah lunak.
 $T0 = 0.2 \times SD1/SDS$
 = $0.2 \times 0.530/0.552 = 0.192 \text{ detik}$
 $Ts = SD1/SDS$
 = $0.530/0.552 = 0.960 \text{ detik}$

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

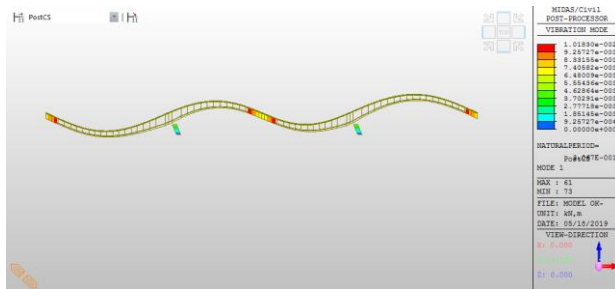
4.1. Analisis Respon Spektrum Ragam Jembatan (Modal Analysis)

Periode alami dan frekuensi alami model jembatan harus mempertimbangkan persentase dari partisipasi massa ragam (*modal mass participation factor*). Berdasarkan SNI 2833:2016, jumlah ragam harus diambil sedemikian rupa sehingga menghasilkan partisipasi massa ragam kumulatif melebihi 90%. Analisis ragam dilakukan hingga ragam ke-88 dengan partisipasi massa ragam kumulatif mencapai angka 100% dan 100%, untuk arah X dan Y. Karena partisipasi massa ragam kumulatif sudah melebihi 90%, maka syarat SNI 2833:2016 untuk melanjutkan keanalisis respons spektrum gempa sudah terpenuhi. Partisipasi massa ragam kumulatif dari model jembatan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 5 berikut.



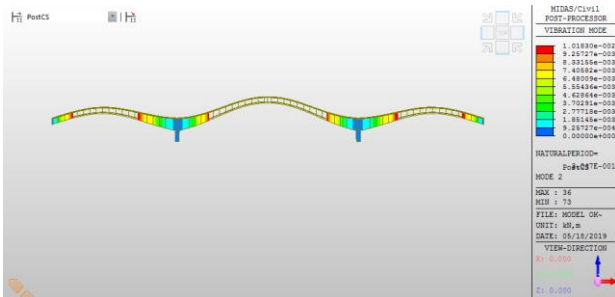
Gambar 5 Partisipasi Massa Ragam Kumulatif

Periode getaran bebas struktur (T) merupakan produk dari massa struktur dan kekakuan struktur. Tiga bentuk awal ragam getar struktur ditampilkan pada Gambar 4.1. Periode pada ragam pertama sebesar 0,269 detik disebut periode fundamental getaran (fundamental period of vibration) karena memiliki nilai periode paling besar.



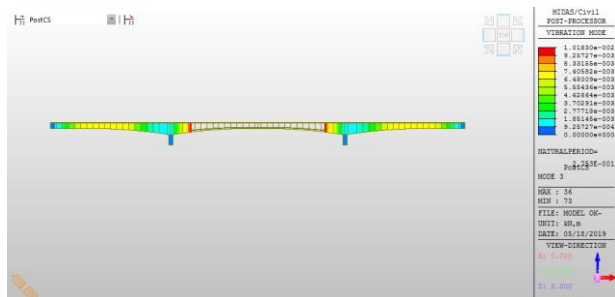
MODE I

Perioda = 0,383734 detik
Frekuensi = 2,605972 Hz



MODE II

Perioda = 0,372019 detik
Frekuensi = 2,688034 Hz



MODE III

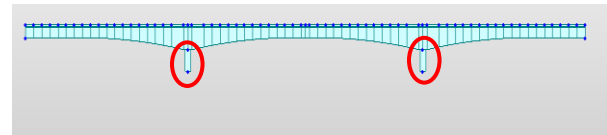
Perioda = 0,367834 detik
Frekuensi = 2,718621 Hz

Gambar 6 Bentuk Awal Ragam Getar Struktur

Periode getar struktur sangat dipengaruhi oleh kekakuan dan massa yang bergetar secara bebas tanpa adanya pengaruh dari gaya luar. Periode alami struktur mencerminkan tingkat *flexibility* struktur tersebut. Semakin besar nilai periode fundamental struktur maka semakin besar tingkat *flexibility* struktur tersebut. Dari analisis didapatkan nilai periode struktur jembatan beton prategang yang relatif kecil sehingga dapat disimpulkan jembatan beton prategang *box girder* relatif kaku.

4.2. Analisis Respon Struktur Gempa Struktur Jembatan

Subbab ini berisi penjelasan tentang hasil analisis respon spektrum. Titik pengamatan pada jembatan yang ditinjau terletak pada bagian *pier* jembatan yang dapat dilihat pada Gambar 6. Analisis respon spektrum pada penelitian ini dilakukan untuk memperoleh hasil respon struktur pada jembatan beton prategang *box girder* berupa *displacement* (perpindahan).



Titik Pengamatan

Gambar 7 Titik Pengamatan pada Model Jembatan Beton Prategang

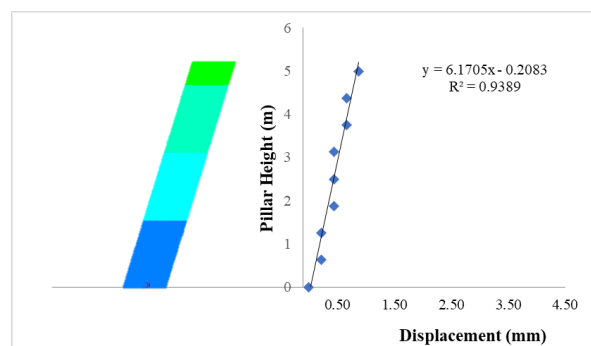
4.2.1. Respon Struktur Jembatan Beton Prategang Box Girder Sei Siak II

Respon Struktur yang ditinjau terletak pada bagian pier jembatan. Hasil luaran respon struktur dari *software* MIDAS CIVIL berikut.

1. Kondisi Tanah Keras
 - a. Arah X

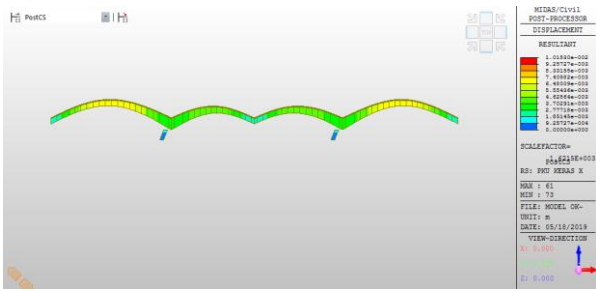
Tabel 3 Nilai Perpindahan\ Arah X Pier Kanan dan Pier Kiri Kondisi Tanah Keras

Ketinggian Pier (m)	Nilai Displacement (mm)
5,0	0,877832
4,4	0,658374
3,8	0,658374
3,1	0,438916
2,5	0,438916
1,9	0,438916
1,3	0,219458
0,6	0,219458
0,0	0,000000



Gambar 8 Grafik nilai perpindahan untuk kondisi tanah keras arah x pada pilar jembatan

Dari Grafik dapat dilihat bahwa nilai *displacement* (perpindahan) untuk kondisi tanah keras meningkat berdasarkan ketinggian dari bagian dasar *pier* jembatan.

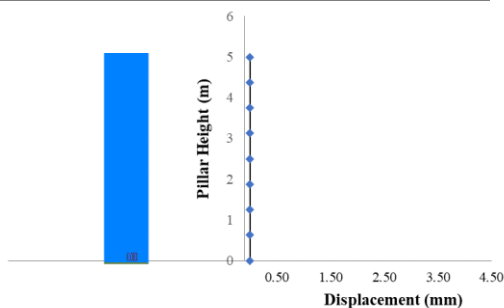


Gambar 9 Nilai Kontur Hasil Perpindahan untuk Kondisi Tanah Keras Arah Longitudinal Menggunakan Midas Civil V2.2

b. Arah Y

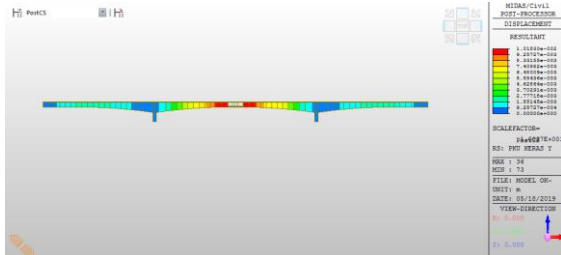
Tabel 4 Nilai perpindahan Arah Y Pier Kanan dan Pier Kiri Kondisi Tanah Keras

Ketinggian Pier (m)	Nilai Displacement (Mm)
5,0	0
4,4	0
3,8	0
3,1	0
2,5	0
1,9	0
1,3	0
0,6	0
0,0	0



Gambar 10 Grafik nilai perpindahan untuk kondisi tanah keras arah y pier jembatan

Dari Grafik dapat dilihat bahwa nilai *displacement* (perpindahan) untuk kondisi tanah keras pada arah Y bernilai 0.

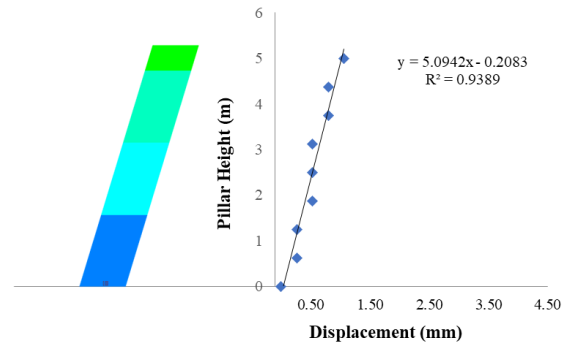


Gambar 11 Nilai Kontur Hasil Perpindahan untuk Kondisi Tanah Keras Arah Longitudinal Menggunakan Midas Civil V2.2

2. Kondisi Tanah Sedang
a. Arah X

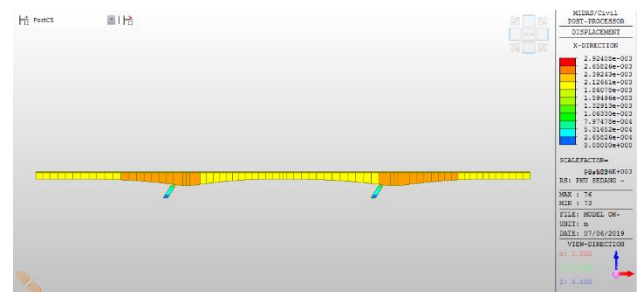
Tabel 5 Nilai Displacement Arah X Pier Kanan dan Pier Kiri Kondisi Tanah Sedang

Ketinggian Pier (m)	Nilai Displacement (mm)
5,0	1,06330
4,4	0,79748
3,8	0,79748
3,1	0,53165
2,5	0,53165
1,9	0,53165
1,3	0,26583
0,6	0,26583
0,0	0,00000



Gambar 12 Grafik Nilai Displacement Untuk Kondisi Tanah Sedang Arah X Pier Jembatan

Dari Grafik dapat dilihat bahwa nilai *displacement* (perpindahan) untuk kondisi tanah sedang meningkat berdasarkan ketinggian dari bagian dasar *pier* jembatan.

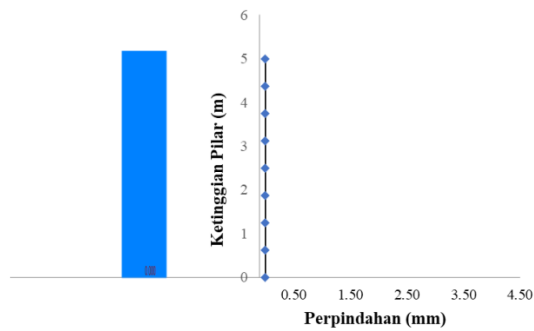


Gambar 13 Nilai kontur hasil perpindahan untuk kondisi tanah sedang arah longitudinal menggunakan midas civil v2.2

b. Arah Y

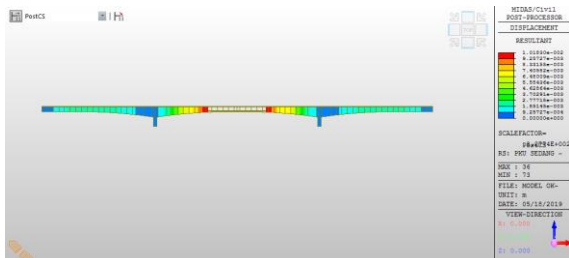
Tabel 6 Nilai Perpindahan Arah Y Pier Kanan dan Pier Kiri Kondisi Tanah Sedang

Ketinggian Pier (m)	Nilai Displacement (mm)
5,0	0
4,4	0
3,8	0
3,1	0
2,5	0
1,9	0
1,3	0
0,6	0
0,0	0



Gambar 14 Grafik nilai perpindahan untuk kondisi tanah sedang arah y pada pilar jembatan

Dari Grafik dapat dilihat bahwa nilai *displacement* (perpindahan) untuk kondisi tanah sedang pada arah Y bernilai 0.



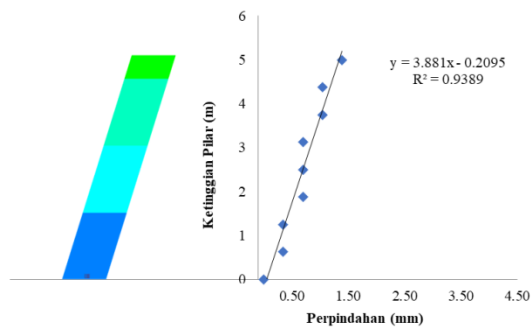
Gambar 15 Nilai kontur hasil perpindahan untuk kondisi tanah sedang arah longitudinal menggunakan midas civil v2.2

3. Kondisi Tanah Lunak

a. Arah X

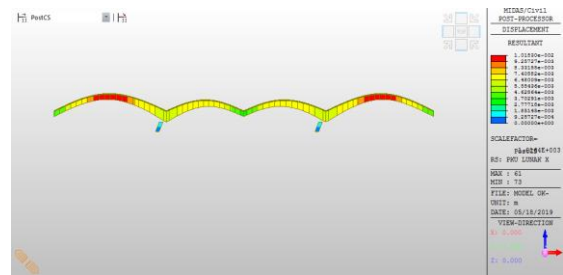
Tabel 7 Nilai Displacement Arah X Pier Kanan dan Pier Kiri Kondisi Tanah Lunak

Ketinggian Pier (m)	Nilai Displacement (mm)
5,0	1,39570
4,4	1,04678
3,8	1,04678
3,1	0,69875
2,5	0,69875
1,9	0,69875
1,3	0,34893
0,6	0,34893
0,0	0,00000



Gambar 16 Grafik nilai perpindahan untuk kondisi tanah lunak arah x pada pilar jembatan

Dari Grafik dapat dilihat bahwa nilai *displacement* (perpindahan) untuk kondisi tanah lunak meningkat berdasarkan ketinggian dari bagian dasar pilar jembatan.

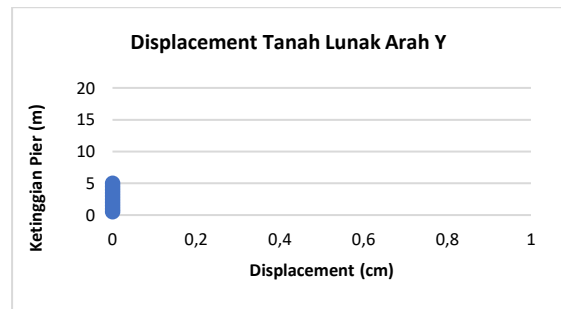


Gambar 17 Nilai kontur hasil perpindahan untuk kondisi tanah lunak arah longitudinal menggunakan midas civil v2.2

b. Arah Y

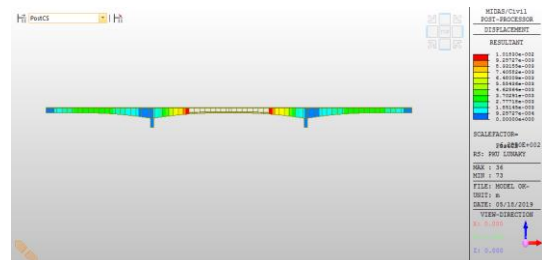
Tabel 8 Nilai Displacement Arah Y Pier Kanan dan Pier Kiri Kondisi Tanah Lunak

Ketinggian Pier (m)	Nilai Displacement (mm)
5,0	0
4,4	0
3,8	0
3,1	0
2,5	0
1,9	0
1,3	0
0,6	0
0,0	0



Grafik Nilai Displacement Untuk Kondisi Tanah Lunak Arah Y Pier Jembatan

Dari Grafik dapat dilihat bahwa nilai *displacement* (perpindahan) untuk kondisi tanah lunak pada arah Y bernilai 0.



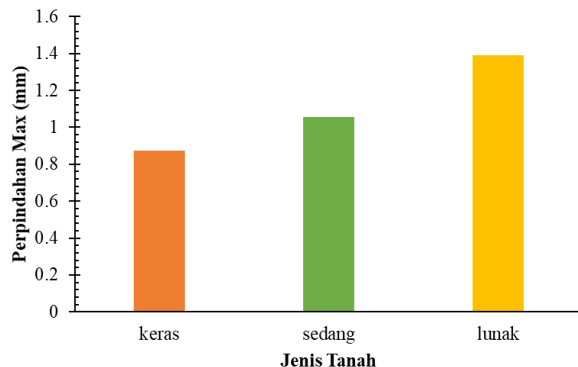
Gambar 18 Nilai kontur hasil perpindahan untuk kondisi tanah lunak arah longitudinal menggunakan midas civil v2.2

Tabel 9 Rangkuman Nilai Perpindahan Maksimal untuk Beberapa Jenis Tanah

No.	Lokasi	Jenis	Perpindahan maks.
-----	--------	-------	-------------------

	Tanah	(mm)	
		Arah X	Arah Y
1.	Keras	0,8778	0
2.	Sedang	1,0633	0
3.	Lunak	1,3957	0

Gambaran pola perpindahan arah X, Y dan Z untuk masing-masing jenis tanah secara berurutan ditampilkan pada Gambar.



Gambar 19 Grafik Nilai Perpindahan Maksimal Arah X Pada Pier Jembatan

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian tugas akhir ini, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Pola nilai perpindahan maksimum mengikuti pola spektrum permukaan tanah puncak (S_{DS}), semakin besar S_{DS} untuk suatu jenis tanah, menyebabkan nilai perpindahan juga akan semakin besar. Hal ini dikarenakan model struktur jembatan memiliki periode getar yang relatif rendah ($< 0,3837$ detik). Hal ini menunjukkan bahwa struktur jembatan cukup kaku dalam menahan beban dinamis dari beban gempa kota Pekanbaru.
2. Hasil analisis respons spektrum ragam jembatan berdasarkan analisis partisipasi massa ragam diperoleh partisipasi massa ragam kumulatif untuk model struktur jembatan sudah melebihi 90% pada mode ke 88 yaitu mencapai angka 100%. Hal ini telah sesuai dengan persyaratan SNI 2833:2016.
3. Hasil analisis respons struktur jembatan beton prategang *box girder* berdasarkan Respons Spektrum Gempa Indonesia pada SNI 2833:2016, menunjukkan bahwa respons struktur di Kota Pekanbaru pada arah longitudinal pada bagian pilar jembatan beton prategang *box girder* terbesar terjadi pada kondisi tanah lunak dengan nilai perpindahan sebesar 1,40 mm. Sementara itu, respons struktur di Kota Pekanbaru arah longitudinal terkecil terjadi pada kondisi tanah keras nilai perpindahan sebesar 0,88 mm, sedangkan untuk kondisi tanah sedang diperoleh nilai perpindahan sebesar 1,06 mm. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa nilai perpindahan jembatan akibat beban gempa rencana untuk arah transversal pada kondisi tanah keras lebih kecil 16,98% dibanding pada kondisi tanah sedang dan lebih kecil 59,10% dibanding tanah lunak.

5.2. Saran

1. Software Midas Civil yang digunakan dalam penelitian ini dapat digunakan menjadi alat bantu ataupun alternatif lain

dalam memprediksi respons struktur jembatan beton prategang berupa perpindahan. Namun, bisa juga dilakukan training terhadap berbagai variasi parameter input dan output lainnya yang berhubungan dengan struktur jembatan. Untuk parameter input seperti jumlah bentang, dimensi elemen struktur, dan material elemen struktur, sedangkan untuk parameter output seperti base shear, gaya geser, dan momen pada girder. Sehingga prediksi yang diperoleh dapat dikembangkan untuk berbagai variasi data model struktur jembatan yang lebih luas.

2. Untuk pengembangan penelitian kedepan, metode analisis menggunakan MIDAS CIVIL juga dapat digunakan untuk memprediksi berbagai analisis lainnya yang berhubungan dengan pengaruh gempa terhadap struktur jembatan di Indonesia.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada penelitian ini, kami ingin mengucapkan terimakasih kepada Kemenristekdikti atas pendanaan penelitian melalui Skema Penelitian Berbasis Kompetensi 2019. Semoga hasil penelitian yang didapatkan dapat memberi kontribusi bagi riset teknologi Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi Prasetya, W., & Setya Budi, G. (2017). Perhitungan Jembatan Layang (Flyover) Dengan Tipe Box Girder Beton Prategang (Prestressed Concrete) Untuk Pertemuan Jalan Mayor Alinyang Dan Jalan Soekarno-Hatta Kabupaten Kubu Raya, 169–191.
- Ansori, Sugiharjo, S. (2012). Studi Respon Seismik Jembatan Balok Komposit Sederhana Yang Diretrofit Dengan, 1(1), 2–7.
- Comartin, C. D. (1996). Atc-40 Seismic Evaluation And Retrofit Of Concrete Buildings, 1(Ssc 96-01). <https://doi.org/10.1193/1.1586093>
- Elianto. (2014). Studi Beban Gempa Pada Pilar Jembatan Dengan Pembangunan Bertahap.
- Kementerian, P. (1992). Bridge Design Manual.
- Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat. (2017). Buku Informasi Statistik 2017.
- Kementerian Pupr. (2017). Buku Peta Gempa 2017.
- Manalip, H., & Handono, B. D. (2018). Perencanaan Balok Girder Profil I Pada Jembatan Prestressed Dengan Variasi Bentang, 6(2), 67–74.
- Medriosa, H., Tanjung, J., Nur, O. F., Sipil, F. T., Sipil, F. T., Andalas, P. U., & Sipil, F. T. (2015). Jurnal Momentum Issn : 1693-752x Evaluasi Kinerja Struktur Pilar Jembatan Purus Pada Saat Gempa Jurnal Momentum Issn : 1693-752x, 17(2), 94–99.
- Nasional, B. S. (2016). Pembebanan Untuk Jembatan.
- Nurdianti, U. (2013). Studi Keandalan Struktur Gedung Tinggi Tidak Beraturan Menggunakan Pushover Analysis Pada Tanah Medium, 55–60.
- Pratama, A. W. (2016). Analisis Respons Struktur Atas Jembatan Prestressed Kuranji Akibat Gempa Horizontal. Pci Journal.
- Reza, S. F. (2010). Analisis Kinerja Struktur Bangunan Bertingkat Di Wilayah Gempa Indonesia Intensitas

- Tinggi Menggunakan Analisis Statis Nonlinier Sri. Journal Of Pharmaceutical Sciences, 2(2), 145–165. <https://doi.org/10.1186/1475-2875-12-4>
- Sni-2833-2008. (2008). Standar Nasional Indonesia Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Jembatan.
- Sni 2833-2016. (2016). Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa.
- Survianto, A. (2012). Analisis Integral (Seismic Nonlinear Analysis In Transverse Direction For Abutment Of Integral Abutment Bridge).
- Suryadi. (2013). Perilaku Jembatan Bentang Menerus Akibat Beban Gempa Rencana Sni-1726-2002, 12(2), 75–85.
- Suryanita, R., & Djauhari, Z. (2016). Berdasarkan Spektrum Gempa Wilayah Sumatera, 15(1), 18–24.
- Wicaksono, K. A., & Saadati, K. (2016). Perencanaan Struktur Jembatan Slab On Pile Sungai Brantas Dengan Menggunakan Metode Pracetak Pada, 5, 275–282.
- Wijaya, A., Suryanita, R., & Djauhari, Z. (2016). Prediksi Respons Struktur Jembatan Beton Prategang Berdasarkan Spektrum Gempa Indonesia Dengan Metode Jaringan Saraf Tiruan. Jom Fteknik, 3(1), 1–15.
- Yusuf, D. M. (2015). Analisis Perilaku Dinamika Struktur Jembatan Box Girder Menerus Dengan Variasi Bentang.
- Adi Prasetya, W., & Setya Budi, G. (2017). Perhitungan Jembatan Layang (Flyover) Dengan Tipe Box Girder Beton Prategang (Prestressed Concrete) Untuk Pertemuan Jalan Mayor Alianyang Dan Jalan Soekarno-Hatta Kabupaten Kubu Raya, 169–191.
- Ansori, Sugiharjo, S. (2012). Studi Respon Seismik Jembatan Balok Komposit Sederhana Yang Diretrofit Dengan, 1(1), 2–7.
- Comartin, C. D. (1996). Atc-40 Seismic Evaluation And Retrofit Of Concrete Buildings, 1(Ssc 96-01). <https://doi.org/10.1193/1.1586093>
- Elianto. (2014). Studi Beban Gempa Pada Pilar Jembatan Dengan Pembangunan Bertahap.
- Kementerian, P. (1992). Bridge Design Manual.
- Kementrian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat. (2017). Buku Informasi Statistik 2017.
- Kementrian Pupr. (2017). Buku Peta Gempa 2017.
- Manalip, H., & Handono, B. D. (2018). Perencanaan Balok Girder Profil I Pada Jembatan Prestressed Dengan Variasi Bentang, 6(2), 67–74.
- Medriosa, H., Tanjung, J., Nur, O. F., Sipil, F. T., Sipil, F. T., Andalas, P. U., & Sipil, F. T. (2015). Jurnal Momentum Issn : 1693-752x Evaluasi Kinerja Struktur Pilar Jembatan Purus Pada Saat Gempa Jurnal Momentum Issn : 1693-752x, 17(2), 94–99.
- Nasional, B. S. (2016). Pembebanan Untuk Jembatan.
- Nurdianti, U. (2013). Studi Keandalan Struktur Gedung Tinggi Tidak Beraturan Menggunakan Pushover Analysis Pada Tanah Medium, 55–60.
- Pratama, A. W. (2016). Analisis Respons Struktur Atas Jembatan Prestressed Kuranji Akibat Gempa Horizontal. Pci Journal.
- Reza, S. F. (2010). Analisis Kinerja Struktur Bangunan Bertingkat Di Wilayah Gempa Indonesia Intensitas Tinggi Menggunakan Analisis Statis Nonlinier Sri. Journal Of Pharmaceutical Sciences, 2(2), 145–165. <https://doi.org/10.1186/1475-2875-12-4>
- Sni-2833-2008. (2008). Standar Nasional Indonesia Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Jembatan.
- Sni 2833-2016. (2016). Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa.
- Survianto, A. (2012). Analisis Integral (Seismic Nonlinear Analysis In Transverse Direction For Abutment Of Integral Abutment Bridge).
- Suryadi. (2013). Perilaku Jembatan Bentang Menerus Akibat Beban Gempa Rencana Sni-1726-2002, 12(2), 75–85.
- Suryanita, R., & Djauhari, Z. (2016). Berdasarkan Spektrum Gempa Wilayah Sumatera, 15(1), 18–24.
- Wicaksono, K. A., & Saadati, K. (2016). Perencanaan Struktur Jembatan Slab On Pile Sungai Brantas Dengan Menggunakan Metode Pracetak Pada, 5, 275–282.
- Wijaya, A., Suryanita, R., & Djauhari, Z. (2016). Prediksi Respons Struktur Jembatan Beton Prategang Berdasarkan Spektrum Gempa Indonesia Dengan Metode Jaringan Saraf Tiruan. Jom Fteknik, 3(1), 1–15.
- Yusuf, D. M. (2015). Analisis Perilaku Dinamika Struktur Jembatan Box Girder Menerus Dengan Variasi Bentang.

NOMENKLATUR

S_s	=	Respons spektrum percepatan gempa untuk periode pendek
S_1	=	Respons spektrum percepatan gempa untuk periode 1,0 detik
SC	=	Kelas situs untuk tanah keras
SD	=	Kelas situs untuk tanah sedang
SE	=	Kelas situs untuk tanah lunak
MMI	=	(<i>Modified Mercalli Intensity</i>) satuan untuk mengukur kekuatan gempa bumi
FPGA	=	Menentukan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 0 detik
F_a	=	Faktor amplifikasi untuk periode 0,2 detik
F_v	=	Faktor amplifikasi untuk periode 1 detik