

RESPON STRUKTUR JEMBATAN PRATEGANG OELAIKBESI AKIBAT PENGARUH GEMPA

Moh G. Albar¹ (zainalalbar21@gmail.com)

Partogi H. Simatupang² (simatupangpartogi@gmail.com)

Wilhelmus Bunganaen³ (wilembunganaen@yahoo.co.id)

ABSTRAK

Pembangunan jembatan Oelnaikbesi di Kecamatan Sulamu menggunakan struktur beton prategang. Jembatan Oelnaikbesi dibangun kembali setelah mengalami patahan pada balok gelagar jembatan. Berdasarkan peta indeks bencana gempa bumi, kawasan pulau timor termasuk wilayah dengan tingkat ancaman gempa yang tinggi, sehingga pada jembatan tersebut perlu dilakukan suatu analisis untuk mengetahui ketahanan jembatan tersebut terhadap gaya gempa. *Software* yang digunakan dalam penelitian adalah SAP2000 v.14 *Bridge Modeller*. Hasil analisis diperoleh nilai massa participation rasio yang paling kritis dari struktur jembatan adalah arah x sebesar 99.97 % dan arah y sebesar 99.139 %. Nilai frekuensi dari periode terbesar sebesar 2.508 Hz, sehingga kondisi struktur jembatan dinyatakan aman. Nilai perpindahan terbesar terjadi pada arah z berada pada titik tinjauan gelagar 3 sebesar 10.8648 mm. Gaya dalam pada kombinasi envelope didapatkan gaya aksial yang terbesar terjadi pada titik tinjauan 2 dengan nilai -121.54 kN, gaya geser terbesar terdapat pada titik tinjau 5 dengan nilai 174.606 kN, dan Gaya dalam momen gelagar memanjang yang terbesar terdapat pada titik tinjau 3 dengan nilai 1021.93 kNm.

Kata Kunci: Jembatan Prategang; Respon Spektrum; Gempa; SAP2000.

ABSTRACT

Construction of the Oelnaikbesi bridge in Sulamu District uses a prestressed concrete structure. The Oelnaikbesi Bridge was rebuilt after experiencing a break in the girders of the bridge. Based on the earthquake disaster index map, East Timor is one of the regions with a high level of earthquake threat. So that the bridge needs to be done an analysis to determine the bridge's resistance to earthquake forces. The software used in this research is SAP2000. The analysis results obtained that the most critical mass participation ratio value of the bridge structure is the x direction of 99.908% and the y direction of 99.787%. The frequency value of the largest period is 1.6945 Hz, so that the condition of the bridge structure is declared safe. The largest displacement value occurs in the x direction at the girder 1 review point of 6.2565 mm, and the inner force in the envelope combination obtained the largest axial force occurred at the review point 2 with a value of -121.54 kN. The biggest shear force is found at point 5 with a value of 174,606 kN and The force in the elongated girder moment is greatest at point 3 with a value of 1021.93 kNm.

Key Words: Prestressed Bridge; Response Spectrum; Earthquake; SAP2000.

PENDAHULUAN

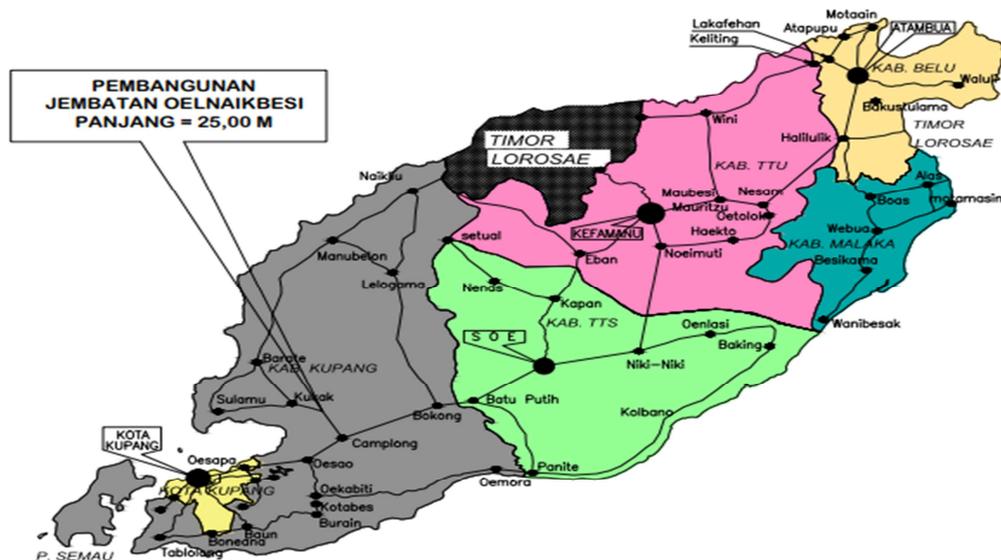
Pembangunan Jembatan Oelnaikbesi di Kecamatan Sulamu, Kabupaten Kupang menggunakan struktur jembatan prategang. Jembatan tersebut dibangun kembali setelah mengalami patahan pada balok gelagar jembatan. Jembatan yang dibangun pada tahun 1986 melalui dana APBD, dengan panjang bentang 20 meter, lebar jembatan 5 meter dan tinggi dari palu terendah ke lantai jembatan ± 4 meter, konstruksi bangunan atas terbuat dari struktur komposit, sedangkan

¹ Program Studi Teknik Sipil, FST Undana;

² Program Studi Teknik Sipil, FST Undana;

³ Program Studi Teknik Sipil, FST Undana.

bangunan bawah berupa pondasi langsung dengan konstruksi pasangan batu. Pembangunan jembatan Oelnaikbesi yang baru menggunakan dana DPA Tahun Anggaran 2018 dengan Panjang bentang 25 meter dan lebar jembatan 9.80 meter. Jembatan Oelnaikbesi adalah fasilitas transportasi yang menghubungkan desa Bipolo dan desa Pariti. Pentingnya jembatan ini adalah sebagai penghubung perekonomian, keagamaan, kesehatan, pendidikan bagi masyarakat sekitar ataupun masyarakat diluar wilayah tersebut. Lokasi Jembatan Oelnaikbesi ditunjukkan pada Gambar 1.

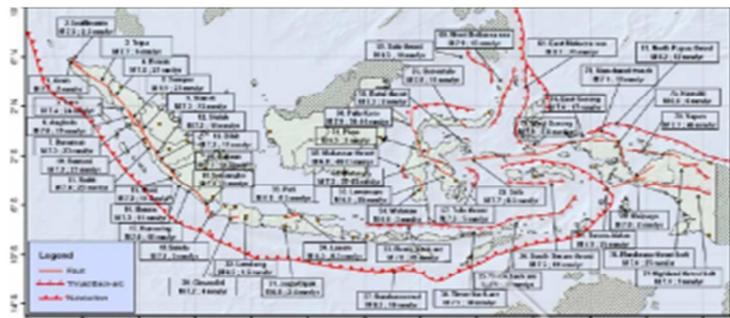


Gambar 1. Lokasi Jembatan Oelnaikbesi

Analisis respon jembatan terhadap pengaruh gempa menjadi salah satu elemen penting dalam perencanaan jembatan karena Indonesia merupakan salah satu negara yang terletak pada zona tektonik yang sangat aktif. Keberadaan interaksi antar lempeng di wilayah Indonesia menempatkan Indonesia sebagai wilayah rawan gempa. Wilayah Nusa Tenggara Timur termasuk kawasan aktif terjadinya gempa bumi tektonik. Berdasarkan Peta Gempa 2017 untuk wilayah Nusa Tenggara Timur ditemukan 7 (tujuh) sesar Sumba, 2 (dua) sesar Sabu dan 2 (dua) sesar Semau. Kondisi wilayah Nusa Tenggara Timur termaksud Kawasan aktif juga dikarena di sebelah selatan provinsi ini terdapat lempeng Australia yang menyusup ke utara ke bawah lempeng Eurasia. Selain patahan benua, hampir setiap daratan daerah subduksi terdapat patahan daratan/local. Di Pulau Timor sendiri patahan yang aktif berada pada sebelah barat Pulau Timor dan sebelah utara Kefamenanu. Patahan benua dan patahan lokal tersebut maka kawasan pulau Timor merupakan wilayah dengan tingkat ancaman gempa yang tinggi. Perubahan SNI Gempa Bidang Konstruksi ditunjukkan pada Gambar 2.

Akibat gempa bumi tektonik yang disebabkan oleh sesar-sesar aktif, patahan benua dan patahan lokal menyebabkan terjadinya getaran yang diterima oleh struktur bangunan, salah satunya struktur jembatan. Suatu analisis mengenai respon struktur jembatan akibat pengaruh gempa diperlukan untuk mengetahui sejauh mana respon struktur terhadap gempa. Pengaruh gempa pada struktur jembatan yang dimaksud adalah pengaruh gempa arah horizontal dan pengaruh gempa arah vertical.

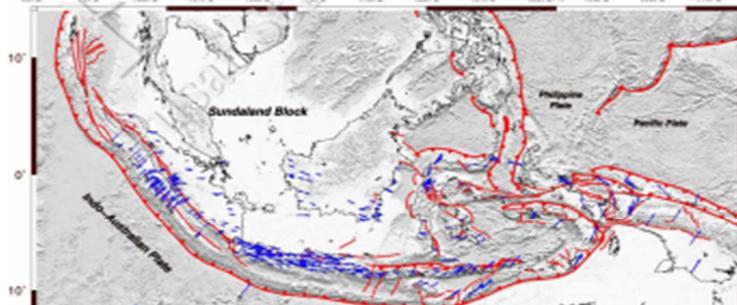
Peta Sesar Aktif Berdasarkan Peta Gempa 2010



Peta Sesar Aktif Berdasarkan Peta Gempa 2017

Untuk Prov NTT ditemukan :

- 7 sesar Sumba,
- 2 sesar Sabu,
- 2 sesar Semau



Gambar 2. Perubahan Peta Gempa untuk SNI Gempa Bidang Konstruksi untuk Wilayah Nusa Tenggara Timur

TINJAUAN PUSTAKA

Jembatan Beton Prategang

Beton adalah material yang kuat terhadap kondisi tekan, akan tetapi material yang lemah terhadap kondisi tarik. Rendahnya kapasitas tarik beton menimbulkan terjadinya retak lentur pada taraf pembebanan yang masih rendah. Untuk mengurangi atau mencegah berkembangnya retak tersebut, gaya konsentris atau eksentris diberikan dalam arah longitudinal elemen structural. Gaya longitudinal tersebut disebut gaya prategang, yaitu gaya tekan yang memberi prategang pada penampang di sepanjang bentang suatu elemen struktural sebelum bekerjanya beban mati dan beban hidup transversal atau beban hidup horizontal transien. Gaya prategang ini berupa tendon yang diberikan tegangan awal sebelum memikul beban kerjanya yang berfungsi mengurangi atau menghilangkan tegangan tarik pada struktur saat beton mengalami beban kerja, menggantikan tulangan tarik pada struktur beton bertulang biasa.

Tekanan yang diberikan pada beton prategang dilakukan sebelum atau sesudah beton dicetak/dicor. Kedua kondisi tersebut membedakan sistem prategang, yaitu *Pre-tension* (pratarik) dan *Post-tension* (pascatarik).

Perletakan Struktur Jembatan

Fungsi tumpuan/perletakan ialah untuk meneruskan gaya-gaya dari bangunan atas jembatan ke bangunan bawah jembatan.

1. Tumpuan tetap, Rotasi terbatas bangunan atas jembatan dapat terjadi, tetapi perpindahan tempat kearah horizontal akan dicegah oleh perletakan tetap tersebut.
2. Tumpuan yang dapat bergerak, Rotasi terbatas dan perpindahan tempat kearah horizontal dapat terjadi pada perletakan yang dapat bergerak.

Jenis perletakan pada struktur jembatan ialah tumpuan sendi, tumpuan roll, tumpuan jepit dan tumpuan elastis.

Jenis Material Struktur Jembatan

Beton yang digunakan dalam beton prategang adalah yang mempunyai kekuatan tekan yang cukup tinggi dengan nilai f'_c antara 30-45 Mpa. Kuat tekan yang tinggi diperlukan untuk menahan tegangan tekan pada serat tertekan, pengankuran tendon, mencegah terjadinya keretakan, mempunyai modulus elastisitas yang tinggi dan mengalami rangkai lebih kecil (Andri Budiadi, 2008).

1. Beton K-500

Kegunaan jenis beton K 500 ini diperuntukan pada konstruksi pratekan karena kriterianya yang sangat kuat, dan kokoh, mutu K 500 ini, memiliki komposisi, dimana agregat kasar lebih banyak, dari agregat halus, yang dimaksud dengan agregat kasar adalah komposisi dari batu krikil ataupun lainnya. Bahan yang digunakan, untuk campuran yang kasar ini, merupakan sebuah batu andesit, yang sudah dihancurkan, kemudian untuk agregat halus yang digunakan untuk mencampur adalah pasir. Cor beton dengan ukuran K 500 ini, memiliki kekuatan untuk bisa menahan beban hingga 500 kg. Ketahanan ini, bisa dicek atau bisa dilihat setelah cor berusia 28 hari, atau setelah kering.

2. Beton K-350

Beton Cor Mutu K-350 merupakan beton kelas II atau yang merupakan kelas menengah ke atas. Beton ini adalah campuran antara bahan-bahan halus dan kasar serta cairan yang akhirnya menjadi homogen. Bahan pencampurnya biasanya adalah agregat halus semacam pasir, bahan agregat kasar seperti kerikil maupun versi agregat yang lain kemudian ditambah dengan air beserta semen. Semen yang digunakan adalah semen hidrolis maupun protland. Fungsi dari agregat kasar dalam Beton Cor Mutu K-350 adalah untuk ketahanan konstruksi, kemudian agregat halus berfungsi untuk mengisi celah atau pori yang terdapat di rongga agregat kasar, sedangkan fungsi perekat serta pengerasnya adalah air dan juga semen. Kesemua bahan ini menciptakan beton cor yang kokoh sekuat batu alam.

Baja yang digunakan untuk beton prategang dalam praktiknya ada empat macam, yaitu:

1. Kawat tunggal (*wires*), biasanya digunakan untuk baja prategang pada beton prategang dengan sistem pratarik.
2. Untaian kawat (*strand*), biasanya digunakan untuk baja prategang pada beton prategang dengan sistem pascatarik.
3. Kawat batangan (*bars*), biasanya digunakan untuk baja prategang pada beton prategang dengan sistem pratarik.
4. Tulangan biasa, sering digunakan untuk tulangan non-prategang (tidak ditarik), seperti tulangan memanjang, sengkang, tulangan untuk pengankuran dan lain-lain.

Pembebanan Pada Struktur Jembatan

1. Berat Sendiri

Berat sendiri jembatan merupakan beban yang berasal dari masing-masing bagian elemen jembatan baik yang bersifat struktural maupun yang non-struktural yang dianggap tetap. Dalam melakukan perencanaan jembatan, untuk keseluruhan beban-beban tersebut dihitung sebagai satu-kesatuan yang terfaktor SNI T-02-2005 (BPPDPU 2005).

2. Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas merupakan seluruh beban hidup, arah vertikal dan horisontal, akibat aksi kendaraan pada jembatan termasuk hubungannya dengan pengaruh dinamis, tetapi tidak termasuk akibat tumbukan. Beban lalu lintas untuk perencanaan jembatan terdiri atas beban lajur "D" dan beban truk "T" SNI T-02-2005 (BPPDPU 2005).

3. Beban Angin

Pengaruh beban angin sebesar 150 kg/m² pada jembatan ditinjau berdasarkan bekerjanya beban angin horizontal terbagi rata pada bagian vertikal jembatan, dalam arah tegak lurus sumbu memanjang jembatan. Jumlah luas bidang vertikal bangunan atas jembatan yang dianggap terkena oleh angin ditetapkan sebesar suatu persentase tertentu terhadap luas bagian-bagian sisi jembatan dan luas bidang vertikal beban hidup.

4. Beban Gempa

Pengaruh-pengaruh gempa bumi pada jembatan dihitung senilai dengan pengaruh suatu gaya horizontal pada konstruksi yang ditinjau dan perlu ditinjau pula gaya – gaya lain yang berpengaruh seperti gaya gesek pada perletakan, tekanan hidro – dinamik akibat gempa, tekanan tanah akibat gempa dan gaya angkat apabila pondasi yang direncanakan merupakan pondasi terapung/pondasi langsung (Surviyanto, dkk., 2011).

Respon Spektrum

Respon spektrum adalah grafik yang menggambarkan reaksi maksimum dari suatu sistem satu derajat kebebasan (*single degree of freedom*) terhadap suatu beban dinamis sebagai fungsi dari frekuensi alami dan rasio dari sistem tersebut. Reaksi ini dapat berupa perpindahan, kecepatan, dan percepatan. Penentuan Respon Spektrum dapat dilakukan dengan memasukkan koordinat lokasi penelitian dan didapatkan klasifikasi situs respon spektrum desain. Penentuan respon spektrum juga tergantung pada kondisi tanah yang akan direncanakan (Sunggono, KH., 1984).

Dalam tugas akhir ini, respons dinamis yang dipakai dalam analisis beban gempa disesuaikan dengan peraturan SNI 1726-2012 (BPPDPU 2012) terhadap struktur jembatan Berdasarkan SNI 1726-2012 (BPPDPU 2012) pada pasal 14, untuk wilayah gempa Indonesia ditetapkan berdasarkan parameter S_s (percepatan batuan dasar pada periode pendek 0,2 detik) dan S_1 (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik). Untuk PGA ditetapkan berdasarkan penetapan warna pada peta respon spektrum wilayah Indonesia, contohnya untuk wilayah pulau Timor nilai PGA sebesar 0.3-0.4 g.

Analisis Struktur

Analisis struktur biasanya dilakukan pada tahap perencanaan. Analisis struktur dilakukan sebelum sistem bangunan tersebut diaplikasikan di lapangan. Namun untuk beberapa kasus, analisis struktur dilakukan ketika struktur telah menjadi bangunan eksisting. Menganalisis struktur pada bangunan bertujuan untuk mengetahui perilaku dari struktur tersebut setelah diberikan berbagai macam pembebanan.

Analisis Periode Perubahan Bentuk Struktur

Analisis periode perubahan bentuk struktur 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). Perubahan bentuk struktur menghasilkan nilai awal dan maksimal frekuensi natural dari suatu struktur akibat pengaruh beban gempa. SNI-1726-2008 (BPPDPU 2008) memberikan Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Jembatan dengan nilai frekuensi jembatan sebesar 2.63 Hz. Nilai tersebut merupakan nilai yang dijadikan standar untuk seluruh jembatan di Indonesia.

Analisis Perpindahan Struktur

Analisa statik nonlinier merupakan prosedur analisa untuk mengetahui perilaku keruntuhan suatu bangunan terhadap gempa, dikenal pula sebagai analisa pushover atau analisa beban dorong

statik. Tujuan analisa pushover adalah untuk memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang terjadi serta untuk memperoleh informasi bagian mana saja yang kritis. Selanjutnya dapat diidentifikasi bagian-bagian yang memerlukan perhatian khusus untuk pendetailan atau stabilitasnya.

Analisis Modal

Dalam perencanaan struktur bangunan terhadap pengaruh gempa rencana, eksentrisitas rencana antara pusat massa dan pusat rotasi lantai tingkat menurut Pasal 5.4.3. harus ditinjau baik dalam analisis statik, maupun dalam analisis dinamik 3 dimensi. Antara pusat massa dan pusat rotasi lantai tingkat harus ditinjau suatu eksentrisitas rencana. Apabila ukuran horisontal terbesar denah struktur gedung pada lantai tingkat itu, diukur tegak lurus pada arah pembebanan gempa, dinyatakan dengan b , maka eksentrisitas rencana e_d ditentukan sebesar $0.05 b$, dalam hal tersebut nilai e adalah nol karena massa lantai dan konfigurasi strukturnya adalah simetri. Untuk mencegah penggunaan struktur bangunan yang terlalu fleksibel, nilai waktu getar alami fundamental T_1 dari struktur gedung harus dibatasi, bergantung pada koefisien ζ untuk Wilayah Gempa tempat struktur berada, selanjutnya dalam menganalisis suatu bangunan jembatan menurut SNI-1726-2008 (BPPDPU 2008) dikatakan kritis jika nilai ratio modal load participation $> 90\%$.

Aplikasi Analisis Menggunakan SAP2000 v.14

Program SAP yang digunakan adalah SAP 2000 v.14. Versi SAP tersebut merupakan program analisis struktur dimana program ini memberikan banyak kemudahan bagi para pengguna dengan tampilan yang mempermudah pengguna untuk membuat model struktur, menganalisis dan mendesain model tersebut dalam satu tampilan, serta adanya berbagai macam bentuk template untuk memodelkan bentuk 27 struktur yang pada umumnya. Program ini telah dilengkapi dengan beberapa template seperti 2D dan 3D Frame, Wall, Shell, Staircase, Bridge Wizard dan lain-lain untuk mempermudah dalam memodel struktur.

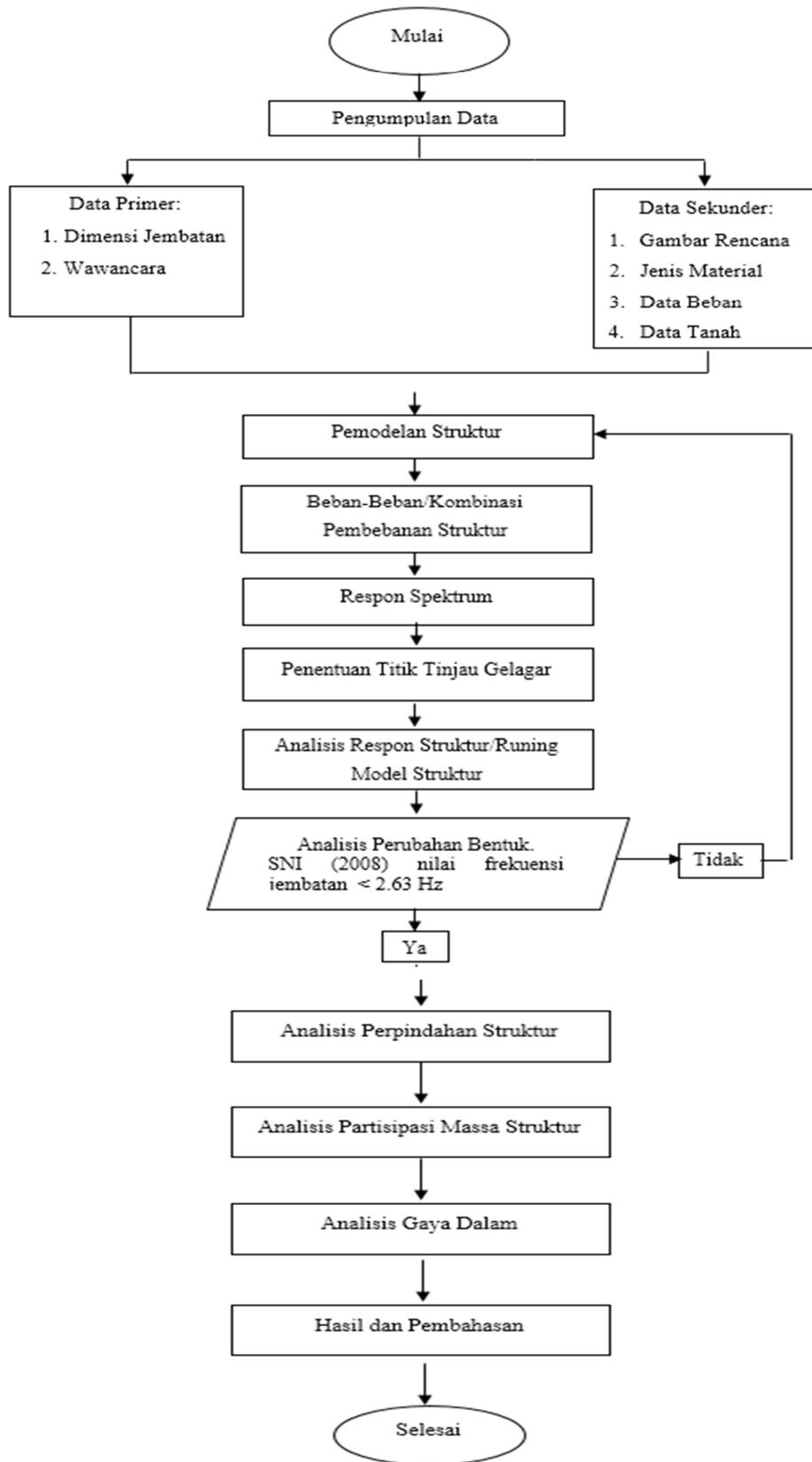
Program SAP2000 ini memiliki beberapa kelebihan, terutama dalam perancangan struktur baja dan beton, dalam perancangan struktur baja SAP2000 dapat merancang elemen struktur dengan menggunakan profil baja yang optimal dan seekonomis mungkin, sehingga dalam penggunaannya tidak perlu menentukan elemen awal dengan profil pilihannya, tetapi cukup memberikan data profil dari database yang ada pada SAP2000, dan ini hanya berlaku untuk perancangan struktur baja, sedangkan untuk perancangan struktur beton kita tetap harus menentukan elemen awal sebagai asumsi awal perancangan yang kemudian nanti diperoleh luas tulangan totalnya

SAP 2000 merupakan program untuk perhitungan kekuatan struktur khususnya bangunan-bangunan bertingkat tinggi dan jembatan. Adanya program ini dapat mempercepat hasil dari analisis. Kinerja dari SAP 2000 ini adalah membuat model-model struktur atau portal bangunan, kemudian diberi beban-beban kerja seperti beban hidup, beban mati, beban gempa, beban angin dan sebagainya. Output dari program ini adalah Momen, gaya geser, dan gaya normal yang diperlukan untuk keperluan mendesain kebutuhan tulangan pada elemen struktur.

Program SAP2000 berguna dalam memodelkan dan menganalisis suatu struktur jembatan, dalam merancang, memodelkan dan menganalisis suatu struktur jembatan dapat menggunakan menu-menu pada SAP (Lampiran) dan *bridge modeler*. *Bridge modeler* dapat digunakan lebih khusus dalam memodelkan dan menganalisis suatu struktur jembatan

METODE PENELITIAN

Tahapan penelitian digambarkan pada diagram alir penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Kondisi Eksisting Jembatan

Jembatan Oelnaikbesi dibangun kembali setelah mengalami patahan pada balok gelagar struktur jembatan, diakibatkan dari ketidakmampuan jembatan dalam menahan beban

Struktur Jembatan Oelnaikbesi yang baru direncanakan dengan data jembatan sebagai berikut:

Nama Jembatan	: Jembatan Oelnaikbesi
Panjang Bentang	: 25 m
Lebar Jembatan	: 9.80 m
Jarak Antar Gelagar Memanjang	: 6,68 m dan 5.72 m
Jarak Antar Gelagar Melintang	: 1,85 m
Tebal lantai jembatan	: 0.2 m
Lebar jalur lalu lintas	: 7 m
Lebar trotoar	: 1 m
Jenis perletakan	: Elastomer
Bangunan Atas	: Balok Girder Beton Precast profil I
Jenis Material	: 1. Beton (K-500, K350) 2. Baja BJTD-32

Perletakan Pada Struktur Jembatan

Perencanaan struktur Jembatan Oelnaikbesi menggunakan perletakan *Elastomeric Bearing* (karet bantalan) atau biasa disebut *Elastomer* dengan ukuran 350 x 280 x 73 mm. Jenis bahan yang digunakan untuk karet bantalan adalah karet sintetis seperti neoprene sehingga dapat juga disebut “bantalan neoprene”. Berdasarkan ukuran dari perletakan maka perletakan memenuhi beberapa spesifikasi, antara lain kemampuan yang cukup terhadap pemuaian dan kontraksi akibat perubahan temperatur, rotasi, perubahan kemiringan, dan penyusutan pada elemen struktur.

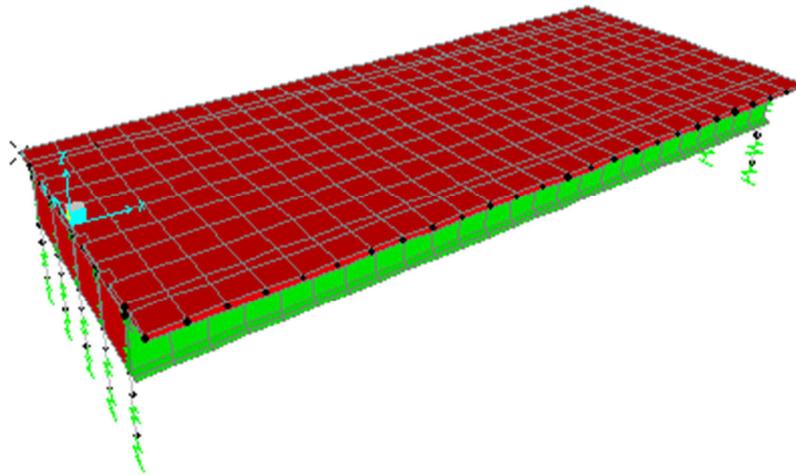
Perletakan didesain untuk mendukung lantai jembatan sekaligus berfungsi untuk menyerap pergerakan, pergeseran, penyusutan dan pemuai akibat traffic yang padat ataupun cuaca yang buruk.

Gelagar Struktur Jembatan

Gelagar struktur jembatan didesain sebagai bagian struktur atas yang berfungsi menyalurkan beban berupa beban kendaraan, berat sendiri girder dan beban lainnya yang berada di atas girder tersebut ke bagian struktur bawah. Perencanaan gelagar pada struktur atas Jembatan Oelnaikbesi sebanyak 20 buah dengan menggunakan beton precast I girder. Gelagar memanjang disusun sebanyak 4 buah gelagar dengan jarak 3.92 m pada bentang tepi dan 6.68 pada bentang tengah.

Pemodelan Struktur Jembatan

Permodelan struktur Jembatan Oelnaikbesi, didesain dengan panjang 25 m dan lebar 9.8 m, gelagar dimodelkan dengan beton precast I girder, gelagar memanjang disusun dengan jarak 3.92 m pada bentang tepi dan 6.68 m pada bentang tengah, ketebalan dari plat lantai yang digunakan adalah 20 cm. Hasil pemodelan struktur jembatan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Tampak 3D Pemodelan Struktur Atas Jembatan Oelnaikbesi

Jenis Material

Menentukan jenis material menggunakan data material, data material yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Beton K-500

Mutu Beton f_c'	: 41.5 Mpa
Modulus Elastisitas, E_c	: $4700\sqrt{f_c'} = 30277.63$ Mpa
Poisson Ratio, U	: 0.2
Modulus Geser, G	: $E_c / (2 \times (1+U))$ $30277.63 / (2 \times (1+0.2)) = 12615.68$ Mpa

2. Beton K-350

Mutu Beton f_c'	: 29.05 Mpa
Modulus Elastisitas, E_c	: $4700\sqrt{f_c'} = 25332.084$ Mpa
Poisson Ratio, U	: 0.2
Modulus Geser, G	: $E_c / (2 \times (1+U))$ $25332.084 / (2 \times (1+0.2)) = 10555.035$ Mpa

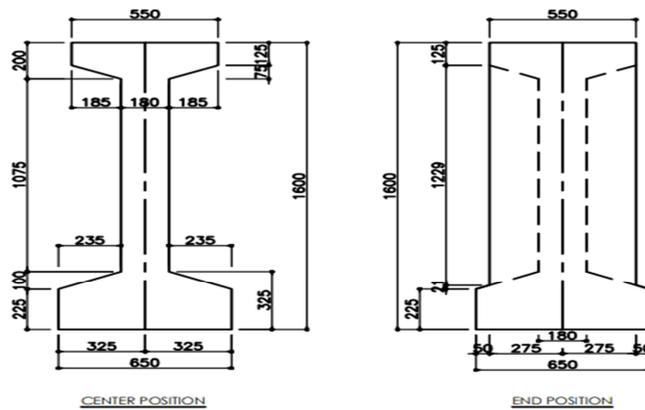
3. Baja

Penulang prestress yang digunakan pada material tendon, rebar dan baja berdasarkan gambar rencana (lampiran 3) dengan menggunakan standar ASTM A-416. Standar tersebut adalah standar umum yang digunakan dalam perencanaan jembatan beton prategang.

Mutu baja	: BJTD-32
f_y	: 1580 Mpa
f_u	: 1860 Mpa
E_y	: 193000 - 200.000 Mpa

Bentuk Penampang Struktur Jembatan

Penginputan data penampang pada model struktur jembatan berdasarkan gambar rencana pembangunan jembatan, dapat ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Data Bentuk Penampang Struktur Jembatan

Setelah penginputan penampang dengan menggunakan data yang ada dilakukan penginputan bagian dek yang digunakan sebagai lantai kerja untuk pekerjaan plat lantai. Penginputan diafragma menggunakan simple beam, yaitu diafragma dianggap berdiri sendiri sehingga hanya menerima beban berat sendiri, fungsi diafragma sebagai pengunci dan pengaku antar girder agar tidak terjadi guling, kemudian dilakukan penginputan penegangan tendon dengan menggunakan sistem *post-tension* (pascatarik) mekanik dengan bantuan dongkrak. Penginpiutan data-data tersebut dengan menggunakan data gambar rencana.

Beban-Beban dan Kombinasi Pembebanan Struktur Jembatan

Beban-beban yang bekerja pada struktur jembatan adalah beban-beban yang umumnya terjadi pada suatu struktur jembatan. Ada beberapa beban yang diinput pada struktur jembatan, yaitu Beban mati, beban hidup, beban angin, beban prategang, dan beban gempa.

Kombinasi pembebanan yang di input pada pemodelan struktur menggunakan kombinasi beban secara umum (AASHTO) dengan tipe desain pada jembatan, yaitu kombinasi beban 1, kombinasi beban 2, kombinasi beban 3, kombinasi beban 4, kombinasi beban 5, kombinasi beban 6, kombinasi beban 7, kombinasi beban 8, kombinasi beban 9, kombinasi beban 10, kombinasi beban 11 dan kombinasi beban envelope.

Respon Spektrum

Data *seismic* dan respon spektrum diperoleh pada aplikasi yang dikembangkan oleh Pusat Penelitian Jalan dan Jembatan (Pusjatan) dengan cara memasukkan koordinat daerah yang direncanakan wilayah/koordinat yang digunakan untuk disain respon spektrum adalah wilayah Kabupaten Kupang pada Lintang -10,06365535619 dan Bujur 123,71636157027 dengan kondisi tanah lunak.

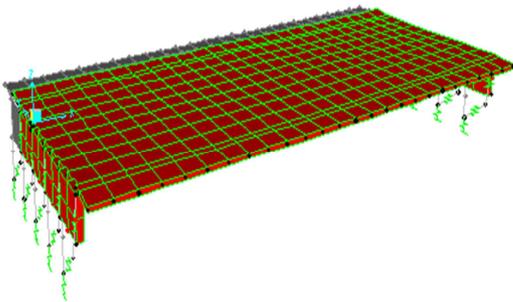
Tabel 1. Perubahan Bentuk yang Terjadi Pada Struktur Jembatan

Mode	Periode (T)	Frekuensi (f)
1	0.398718	2.508
2	0.362978	2.755
3	0.250548	3.9912
4	0.192136	5.2047
5	0.167181	5.9815
6	0.098828	10.119
7	0.053045	18.852
8	0.052695	18.977

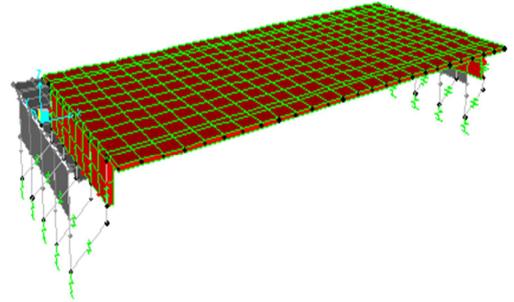
Mode	Periode (T)	Frekuensi (f)
9	0.051523	19.409
10	0.043074	23.216
11	0.032967	30.333
12	0.031019	32.238

Analisis Perubahan Bentuk

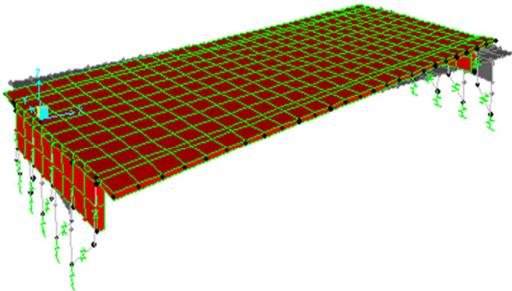
Analisis perubahan bentuk pada struktur Jembatan Oelnaikbesi menghasilkan nilai perubahan bentuk dengan nilai periode terbesar terjadi pada mode 1 sebesar 0.398718 detik dengan nilai frekuensi $2.508 \text{ Hz} < 2.63 \text{ Hz}$ Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Jembatan, dengan demikian kondisi struktur jembatan aman dalam menerima beban gempa pada struktur jembatan.



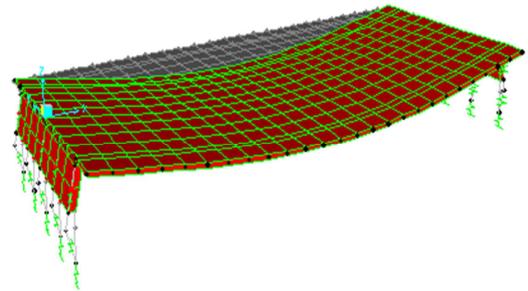
Gambar 6. Perubahan Bentuk Mode ke-1



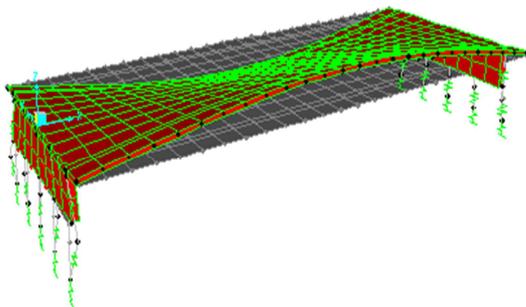
Gambar 7. Perubahan Bentuk Mode ke-2



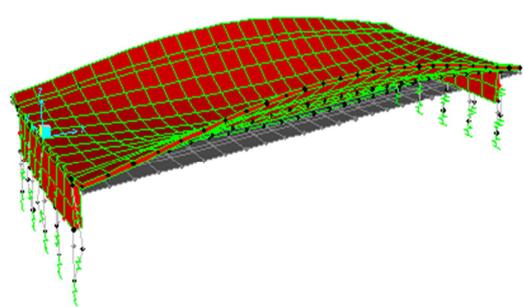
Gambar 8. Perubahan Bentuk Mode ke-3



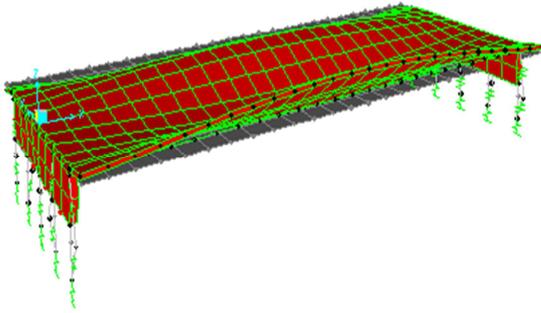
Gambar 9. Perubahan Bentuk Mode ke-4



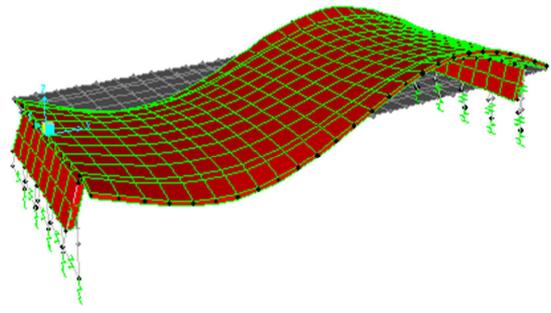
Gambar 10. Perubahan Bentuk Mode ke-5



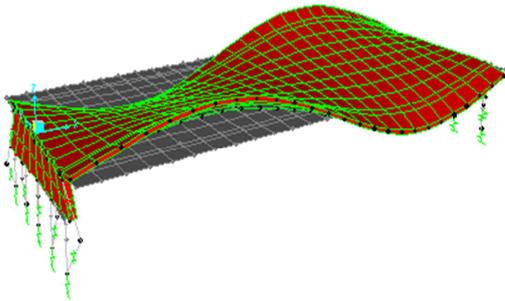
Gambar 11. Perubahan Bentuk Mode ke-6



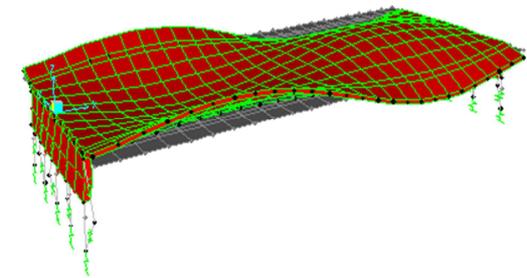
Gambar 12. Perubahan Bentuk Mode ke-7



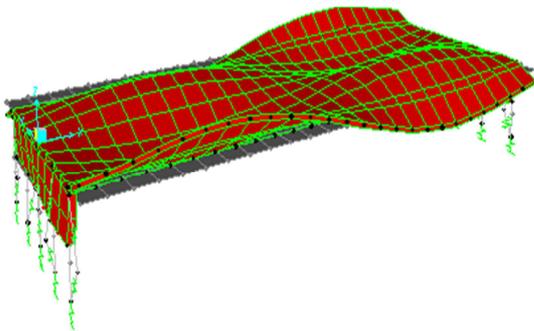
Gambar 13. Perubahan Bentuk Mode ke-8



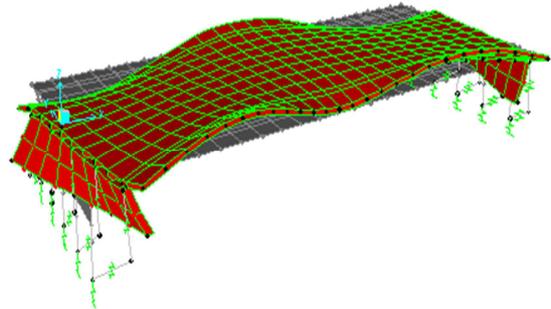
Gambar 14. Perubahan Bentuk Mode ke-9



Gambar 15. Perubahan Bentuk Mode ke-10



Gambar 16. Perubahan Bentuk Mode ke-11



Gambar 17. Perubahan Bentuk Mode ke-12

Analisis Perpindahan Struktur

Nilai perpindahan arah x terbesar berada pada titik 5 dengan nilai sebesar 0.745 mm, nilai perpindahan untuk arah y terbesar berada pada titik 2 dengan nilai sebesar 0.0672 mm, dan nilai perpindahan untuk arah z terbesar berada pada titik 3 dengan nilai sebesar 10.8648 mm

Persyaratan lendutan maksimum yang diberikan oleh SNI T-12-2004 yaitu $L/250$ atau 0,16 m. Pada struktur jembatan lendutan sebesar $25/250 = 0.1041$ m. Lendutan maksimum yang terjadi pada struktur jembatan sebesar $10.8648 \text{ mm} = 0.0108$ m, sehingga lendutan yang terjadi $0.0108 \text{ m} < 0.1041 \text{ m}$ memenuhi standar yang diberikan.

Analisis Respon Massa Struktur

Modal Load Participation Ratio nilai U_x untuk arah x sebesar 99.908 %, nilai U_y untuk arah y sebesar 99.787 %, dan nilai U_z untuk arah z sebesar 75.1187 %, hasil partisipasi massa struktur ini menandakan bahwa kondisi yang paling berpengaruh terhadap kekuatan jembatan adalah arah x dan arah y dengan nilai melebihi standar aman yang ditetapkan

Analisis Gaya Dalam

Gaya dalam pada kombinasi envelope didapatkan gaya aksial yang terbesar terjadi pada titik tinjauan 2 dengan nilai -121.54 kN, gaya geser terbesar terdapat pada titik tinjau 5 dengan nilai 174.606 kN, dan Gaya dalam momen gelagar memanjang yang terbesar terdapat pada titik tinjau

3 dengan nilai 1021.93 kNm. Rasio yang terjadi pada momen maksimum yang diijinkan harus lebih kecil dari 1.0 kNm. rasio yang terjadi pada momen maksimum kombinasi envelope di titik 3 sebesar $0.4 \text{ kNm} < 1.0 \text{ kNm}$

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal yaitu:

1. Struktur jembatan yang paling kritis berada pada arah sumbu x dan y, hal ini dibuktikan dari modal load participation ratio arah $U_x = 99.908 \%$, nilai $U_y = 99.787 \%$, dan nilai $U_z = 75.1187 \%$. Dimana arah U_x dan U_y lebih besar dari arah U_z .
2. Berdasarkan standar yang telah ditentukan, maka frekuensi natural dari jembatan berada dalam kondisi aman yaitu $2.508 \text{ Hz} < 2.63 \text{ Hz}$.
3. Hasil perpindahan analisis struktur Jembatan Oelnaikbesi terbesar terjadi pada arah z pada titik tinjauan gelagar 3 sebesar $10.8648 \text{ mm} = 0.0108 \text{ m}$, sehingga lendutan yang terjadi $0.0108 \text{ m} < 0.104 \text{ m}$ memenuhi standar yang diberikan
4. Gaya dalam pada kombinasi envelope didapatkan gaya aksial yang terbesar terjadi pada titik tinjauan 2 dengan nilai -121.54 kN , gaya geser terbesar terdapat pada titik tinjau 5 dengan nilai 174.606 kN , dan Gaya dalam momen gelagar memanjang yang terbesar terdapat pada titik tinjau 3 dengan nilai 1021.93 kNm . Rasio yang terjadi pada momen maksimum yang diijinkan harus lebih kecil dari 1.0 kNm. rasio yang terjadi pada momen maksimum kombinasi envelope di titik 3 sebesar $0.4 \text{ kNm} < 1.0 \text{ kNm}$.

SARAN

Saran yang dapat diberikan terkait dengan penelitian ini antara lain:

1. Untuk analisis/penelitian selanjutnya, penentuan titik tinjau pada gelagar untuk perpindahan dan gaya dalam sebaiknya lebih banyak titik yang ditinjau lagi.
2. Untuk analisis/penelitian selanjutnya, analisis dilakukan pada 3 girder yang berbeda.
3. Untuk penelitian berikutnya, bisa dikembangkan analisis struktur dengan mempertimbangkan redaman.

DAFTAR PUSTAKA

- Andri Budiadi, 2008. Metode Konstruksi Jembatan Beton, UI Press, Jakarta.
- BPPDPU, 2005. *SNI T-02-2005 Standar pembebanan untuk jembatan*. Jakarta (ID): Badan Penelitian dan Pengembangan Departemen Pekerjaan Umum.
- BPPDPU, 2008. *SNI-1726-2008 Standar perencanaan ketahanan gempa untuk struktur jembatan*. Jakarta (ID): Badan Penelitian dan Pengembangan Departemen Pekerjaan Umum.
- BPPDPU. 2012. *Standar Nasional Indonesia (SNI) T-12-2012 Perencanaan struktur beton untuk jembatan*. Jakarta (ID): Badan Penelitian dan Pengembangan Departemen Pekerjaan Umum.
- Sunggono, KH. 1984, *Mekanika Tanah*. Nova, Bandung
- Surviyanto, Anton dan Setyo Hardono. 2011. *Penilaian Kinerja Seismik Jembatan dengan Pendekatan Analisis Pushover*. Bandung : Puslitbang Jalan dan Jembatan.

