

Evaluasi Jembatan Kereta Api Rangka Baja Tipe Warren Bentang 42 Meter Berdasarkan SNI 2833:2016 dan Peta Gempa 2017

Evaluation of 42 Meter Railway Truss Bridge Warren Type Based on SNI 2833:2016 and 2017 Earthquake Maps

Raka Putra Ismayana, Bagus Soebandono

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Abstrak. Jembatan kereta api dengan struktur rangka baja tipe warren di wilayah Sumatera merupakan infrastruktur yang telah ada sejak jaman kolonial Belanda. Jembatan ini difungsikan sebagai moda transportasi pengangkut sumber daya alam berupa batu bara. Konstruksi jembatan kereta api harus selalu dipantau dan dievaluasi kelayakan strukturnya, terutama terhadap beban gempa. Hal ini disebabkan karena adanya perubahan peta *hazard* gempa yang selalu diperbaharui. Penelitian ini menggunakan peta *hazard* gempa tahun 2017, dengan memodelkan struktur jembatan rangka baja tipe warren bentang 42 meter menggunakan *software* SAP2000 V.21. Hasil penelitian menunjukkan bahwa, nilai *mode shapes* terbesar UZ terjadi pada titik dengan pergerakan dominan ke arah UZ dengan *mode number* 6 sebesar 0,82536 satuan perpindahan dan dengan nilai periode 0,075276 detik. Untuk nilai periode (T) terbesar terjadi pada *mode number* 1 sebesar 0,37002 detik. *Displacement* maksimum terjadi pada arah U3 di *joint* 25 sebesar 36,437377 mm berlawanan arah sumbu. Nilai *displacement* pada arah U3 lebih kecil dari nilai lendutan ijin sebesar 52,5 mm. Lalu, pada evaluasi kontrol tegangan, terdapat 13 batang yang mengalami *overstressed* dan batang yang mengalami tegangan terbesar terjadi pada batang tekan, yakni batang IWF150.150.7.10 dengan nilai P_u sebesar 22,462 ton dengan kapasitas $P_{n_{tekan}}$ sebesar 12,612 ton. Berdasarkan ke-3 tinjauan tersebut, dapat disimpulkan bahwa, struktur jembatan memerlukan perkuatan struktur pada gelagar melintang yaitu, batang 1 (IWF1100.400.16.28), 2 (IWF1100.400.16.28) dan 7 (IWF1100.400.16.28) dan pada ikatan angin atas, yaitu batang 13-22 (IWF150.150.7.10).

Kata-kata kunci: Jembatan kereta api, peta gempa 2017, *mode shapes*, *displacement*, kontrol tegangan.

Abstract. Railway bridge with the warren type truss structure in the Sumatera region is an infrastructure has existed since the Dutch colonial era. Bridge is used as a mode transportation for natural resources of coal. The construction of railway bridge must always be monitored and evaluated for the feasibility of the structure, especially for earthquake load. This is due to change the latest of earthquake hazard maps and regulations regarding earthquake load. The research used SNI 2833:2016 regulations, about bridge planning for earthquake load and 2017 earthquake hazard maps, by modeling the 42 meter warren type of truss structure using SAP2000 V.21 software. The results of the research indicate that, the largest of mode shape value occurs UZ point with the 6 mode number of 0,82536 displacement unit and a period value of 0,075276 second. The largest of period (T) value occurs in 1 mode number of 0,37002 second. The maximum displacement occurs U3 point at the joint 25 of 36,437377 mm opposites the axis. The value of displacement in the direction of U3 is smaller than the value of allowed deflection of 52,5 mm. Then, at the stress control, there are 13 frames that have overstressed and the maximum stressed of frame occurs on the pressure frame, the IWF150.150.7.10 frame has the P_u value of 22,462 tons with a $P_{n_{compressed}}$ of 12,612 tons. Based on the 3 riviews, it can be concluded that, the bridge structure requires reinforcement of structure on cross girder 1 (IWF1100.400.16.28), 2(IWF1100.400.16.28) and 7(IWF1100.400.16.28) frames and on wind bracing 13 until 22 (IWF150.150.7.10) frames.

Keywords: Railway bridge, 2017 earthquake maps, mode shapes, displacement, stress control.

1. Pendahuluan

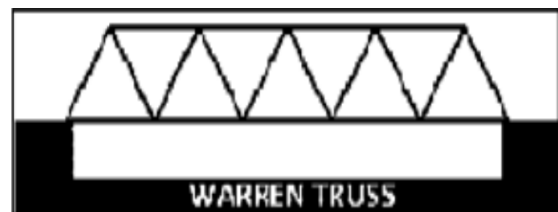
Jembatan merupakan struktur yang menghubungkan wilayah yang terpisah akibat adanya rintangan, seperti lembah, sungai, jalan raya dan laut. Jembatan kereta api menjadi sangat penting pada jalur kereta api. Sehingga, kereta api dapat melewati wilayah terpisah tersebut. Jembatan kereta api merupakan salah satu infrastruktur yang sudah ada sejak lama di wilayah Lampung. Sehingga, harus diperhatikan kelayakan struktur atas akibat pembebanan gempa yang ditinjau berdasarkan hasil *mode shapes*, *displacement* dan kontrol tegangan dari elemen struktur rangka baja. Hal tersebut harus selalu diperhatikan, karena adanya peraturan gempa dan peta *hazard* gempa yang terbaru. Peta *hazard* gempa selalu diperbaharui dikarenakan akibat kejadian-kejadian gempa besar yang dialami di Indonesia sehingga peta *hazard* gempa selalu diperbaharui untuk mendapatkan data yang lebih valid. Pada saat ini, peta *hazard* gempa yang terbaru ialah Peta Gempa 2017 dan peraturan yang digunakan ialah SNI 2833:2016 tentang perencanaan jembatan terhadap beban gempa. Peraturan dan peta ini akan digunakan untuk menganalisis ulang struktur atas jembatan kereta api pada penelitian ini.

Menurut Chen (2000), gempa bumi adalah suatu peristiwa alam dimana terjadinya getaran pada permukaan bumi yang diakibatkan dengan adanya pelepasan energi secara tiba-tiba dari pusat gempa. Energi yang dilepaskan tersebut akan merambat melalui tanah dalam bentuk gelombang getaran. Gelombang getaran yang sampai ke permukaan bumi disebut gempa bumi. Jembatan adalah suatu bangunan yang memungkinkan suatu jalan menyilang sungai/saluran air, lembah atau menyilang jalan lain yang tidak sama tinggi permukaannya (Supriyadi dan Muntohar, 2007). Jembatan rangka (*truss bridge*) merupakan jembatan yang didesain untuk bentang yang panjang. Bentang yang dapat menggunakan konstruksi jembatan rangka, yakni lebih dari 180 *feet* atau 55 m. Tipikal jembatan rangka biasanya terdiri dari elemen-elemen batang yang terletak pada tepi atas dan tepi bawah yang berfungsi sebagai flens pada gelagar yang terhubung dengan elemen batang

diagonal dan vertikal yang biasa disebut dengan batang penggantung (*hangers*) (Rosyidi, 2016).



Gambar 1 Contoh jembatan rangka (Unsworth, 2017)



Gambar 2 Jembatan rangka tipe warren (Satyarno, 2003)

Rumusan masalah yang terjadi ialah, bagaimana perilaku struktur rangka atas jembatan kereta api akibat pengaruh perubahan peta *hazard* gempa yang terbaru, yakni peta *hazard* gempa 2017 dan peraturan SNI 2833:2016. Perilaku yang dimaksud disini ialah *mode shapes*, *displacement* dan kontrol tegangan. Penelitian ini memiliki batasan masalah, yaitu pemodelan menggunakan *software* SAP2000 V.21 dan mutu baja menggunakan A36 yang memiliki tegangan leleh sebesar 36 ksi ($f_y = 250$ Mpa, $f_u = 400$ Mpa) dengan modulus elastisitas baja sebesar $2,1 \times 10^6$ kg/cm². Tujuan dari penelitian ini untuk menganalisis dan mengetahui perilaku struktur rangka atas jembatan dengan meninjau nilai periode dari *mode shapes*, hasil *displacement* dan kontrol tegangan akibat pengaruh peta *hazard* gempa 2017. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pengetahuan dalam menganalisis ulang struktur atas jembatan kereta api yang berupa struktur rangka baja tipe warren, dengan menggunakan peraturan dan peta *hazard* gempa yang terbaru. Sehingga, apabila dari hasil analisis diketahui kelayakan jembatan kereta api eksisting tidak

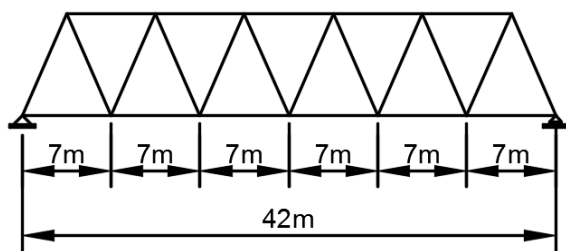
layak fungsi maka, dapat diberikan rekomendasi untuk penanganan lebih lanjut.

2. Metode Penelitian

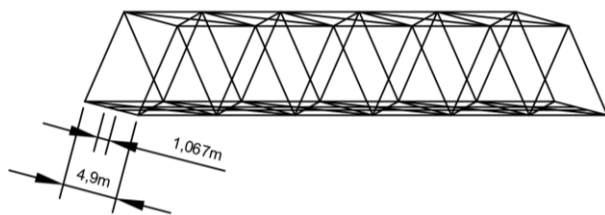
Pada penelitian ini, jembatan yang menjadi objek analisis pada penelitian ini merupakan jembatan kereta api di wilayah operasional Lampung.

Berikut adalah data teknis dari jembatan rangka yang menjadi objek penelitian ini.

- Panjang bentang total : 42 m
- Lebar antar *girder* : 1,067 m
- Lebar jembatan total : 4,9 m
- Tinggi rangka jembatan : 8 m



Gambar 3 Ukuran panjang bentang dan tinggi jembatan



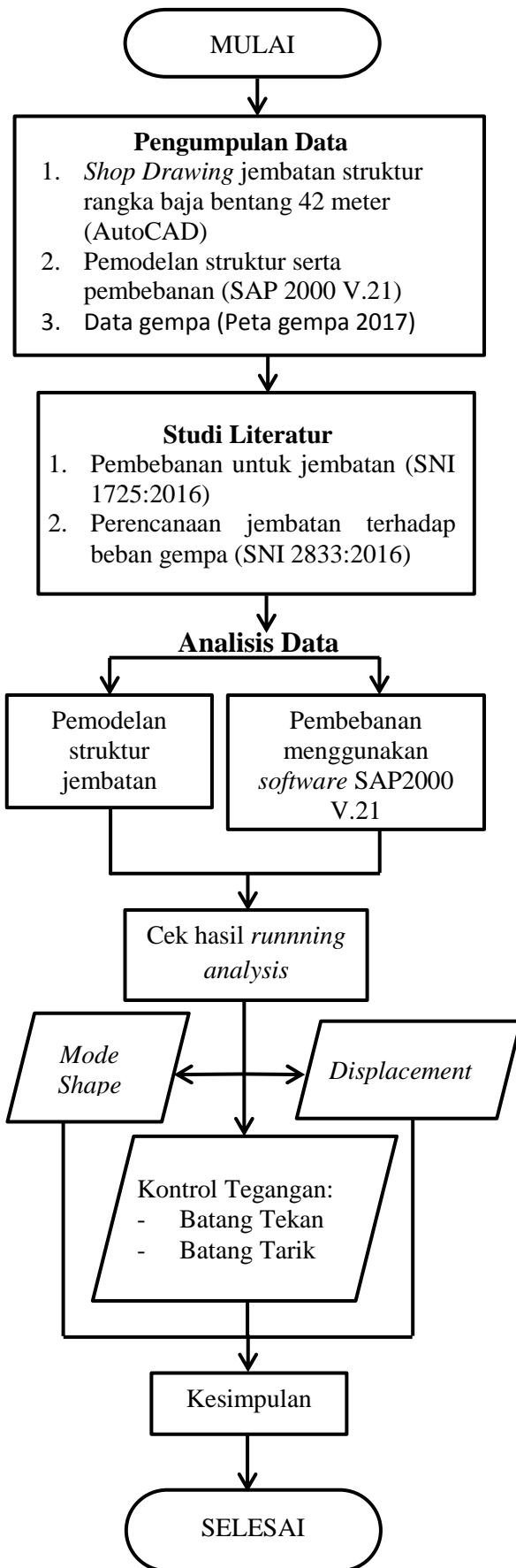
Gambar 4 Ukuran lebar jembatan

Material yang digunakan pada penelitian ini ialah profil baja (ASTM A36) yang memiliki tegangan leleh sebesar 36 ksi ($f_y = 250$ Mpa, $f_u = 400$ Mpa) dengan modulus elastisitas baja sebesar $2,1 \times 10^6$ kg/cm². Pada pemodelan didesain mengikuti kriteria desain jembatan yang ada, dengan panjang bentang 42 meter dan lebar jembatan 4,9 meter. Berikut adalah tahap pemodelan struktur jembatan yang akan dianalisis.

- Menggambar desain jembatan di AutoCAD 2016 untuk dapat mengetahui panjang batang-batang profil baja pada struktur jembatan.
- Melakukan perhitungan pembebanan yang akan di-*input* pada pemodelan struktur jembatan pada program analisis struktur

yang mengacu pada peraturan-peraturan sebagai berikut:

- Pembebanan untuk jembatan (SNI 1725:2016)
 - PM No. 60 Tahun 2012, Tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api
 - PD No. 10 Perencanaan Konstruksi Jalan Rel
 - Perencanaan jembatan terhadap beban gempa (SNI 2833:2016)
 - Peta Gempa 2017
- Memodelkan struktur jembatan dengan program analisis struktur, disini peneliti menggunakan *software* SAP2000 V.21.
 - Menentukan jenis profil baja pada masing-masing bagian pada jembatan dengan *software* SAP2000 V.21.
 - Memasukkan beban-beban yang telah diperhitungkan pada model struktur yang telah dibuat pada *software* SAP2000 V.21. Beban-beban yang di-*input* antara lain, beban mati, beban hidup, beban kejut, beban lateral kereta api, beban rem dan traksi, beban sentrifugal, beban rel longitudinal, beban angin, beban gempa.
 - Membuat model beban hidup yang berupa muatan gerak dari kereta api dengan menggunakan fasilitas *moving load* pada *software* SAP2000 V.21.
 - Menentukan kombinasi pembebanan yang akan di-*input* pada model struktur jembatan yang telah di buat pada *software* SAP2000 V.21. Kombinasi pembebanan dilakukan untuk menentukan beban maksimum yang bekerja dari semua beban-beban yang telah di-*input* pada model struktur jembatan.
 - Melakukan pengecekan terhadap model struktur jembatan yang telah di buat pada *software* SAP2000 V.21. Hal penting yang harus di cek ialah jenis dan dimensi profil yang di modelkan dan beban-beban yang berkerja pada jembatan.
 - Melakukan “*Run Analysis*” untuk mendapatkan *output*/hasil analisis struktur dari pemodelan jembatan yang telah dibuat.

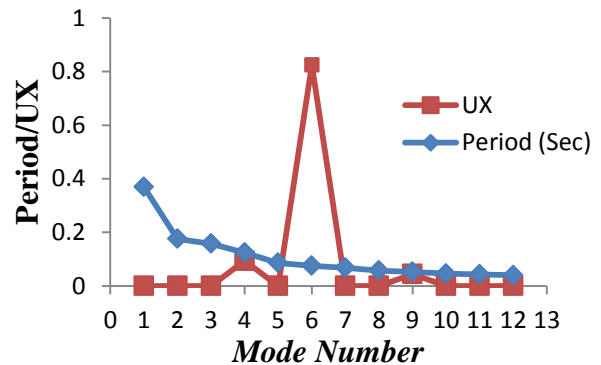


Gambar 5 Diagram alir

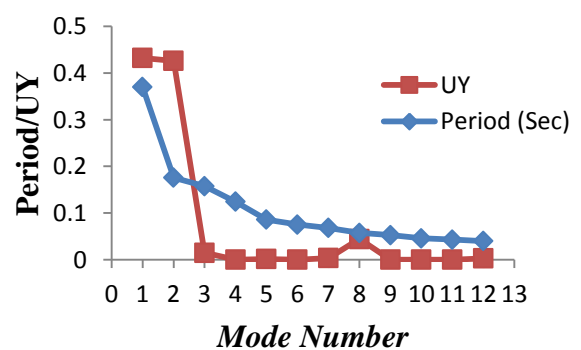
3. Hasil dan Pembahasan

Mode Shapes

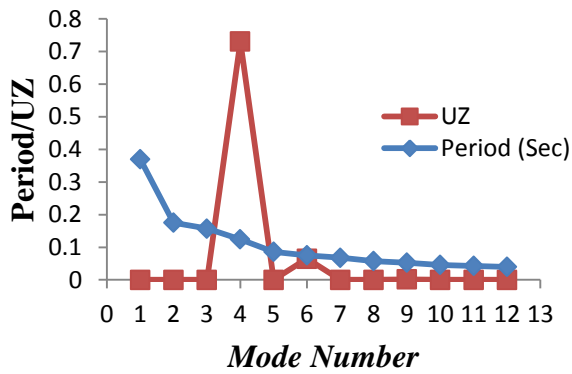
Nilai *mode shapes* maksimum yang pergerakannya dominan ke arah UX terjadi pada *mode number* 6 sebesar 0,82536 satuan perpindahan dengan nilai periode 0,075276 detik. Untuk pergerakan dominan ke arah UY terjadi pada *mode number* 1 sebesar 0,432378 satuan perpindahan dengan nilai periode 0,370023 detik dan untuk pergerakan dominan ke arah UZ terjadi pada *mode number* 4 sebesar 0,7308 satuan perpindahan dengan nilai periode 0,124213 detik. Periode getar terbesar yang dihasilkan pada struktur jembatan memiliki nilai periode (T) sebesar 0,37002 detik pada *mode* 1.



Gambar 6 Grafik periode dan *mode shapes* UX

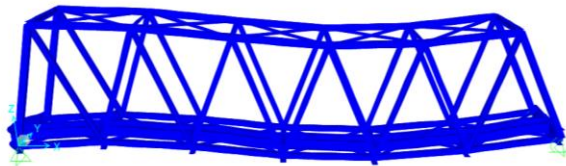


Gambar 7 Grafik periode dan *mode shapes* UY

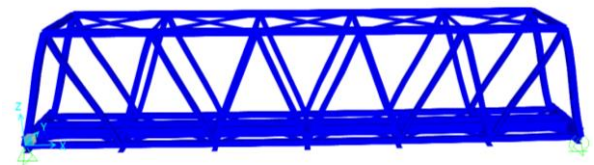


Gambar 8 Grafik periode dan *mode shapes* UZ

Pada Gambar 6, Gambar 7 dan Gambar 8 menunjukkan grafik nilai *mode shapes* maksimum dari masing-masing arah, terjadi pada *mode number* 6 untuk arah UX, *mode number* 1 untuk arah UY dan *mode number* 4 untuk arah UZ. Hasil dari *mode shapes* yang terjadi pada pemodelan struktur jembatan dapat dilihat pada gambar 9, gambar 10 dan gambar 11.



Gambar 9 *Mode shapes* 6 arah UX



Gambar 10 *Mode shapes* 1 arah UY

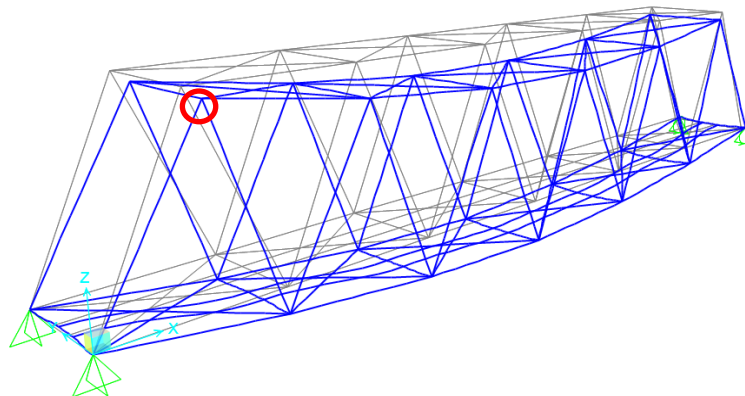


Gambar 11 *Mode shapes* 4 arah UZ

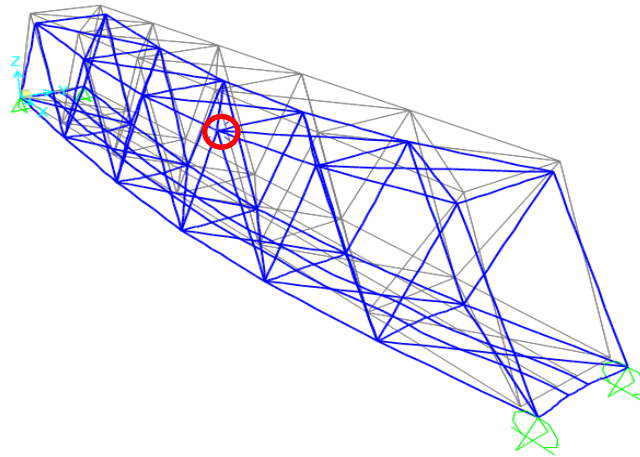
Displacement

Nilai *displacement* maksimum pada arah U1 terjadi pada *joint* 51 (Gambar 12) dengan nilai 11,222773 mm, pada arah U2 terjadi pada *joint* 54 (Gambar 13) dengan nilai -0,615116 mm dan pada arah U3 terjadi pada *joint* 25 (Gambar 14) dengan nilai -36,437377 mm. Tanda min (-) menunjukkan arah *displacement* berlawanan dengan arah sumbu U2 dan U3.

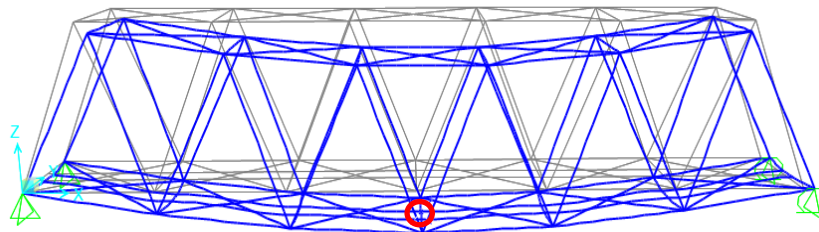
Pada Gambar 15, Gambar 16 dan Gambar 17 menunjukkan grafik nilai *displacement* pada masing-masing arah, yaitu U1, U2 dan U3.



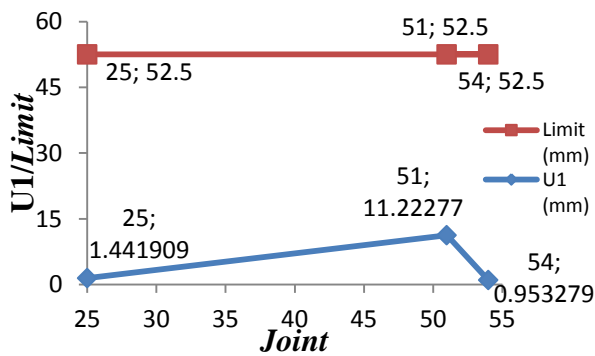
Gambar 12 *Displacement Joint* 51



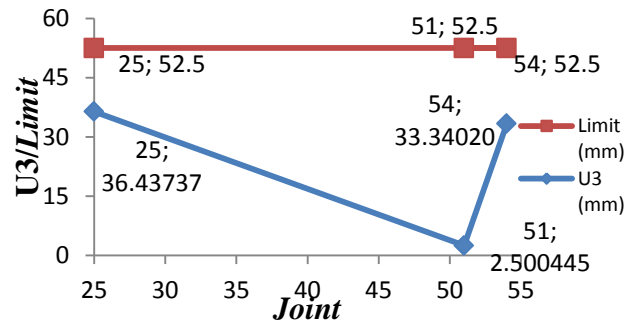
Gambar 13 Displacement Joint 54



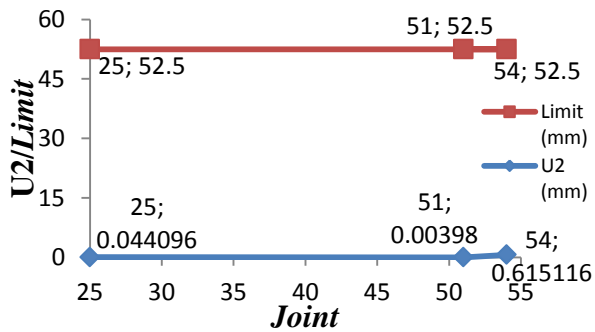
Gambar 14 Displacement Joint 25



Gambar 15 Grafik displacement U1



Gambar 17 Grafik displacement U3



Gambar 16 Grafik displacement U2

Hasil displacement yang terjadi pada titik U3 di joint 25 memiliki nilai sebesar 36,437377 mm berlawanan arah U3 lebih kecil dibandingkan dengan nilai lendutan ijin, yaitu sebesar 52,5 mm. Maka, struktur dinyatakan aman terhadap lendutan yang terjadi.

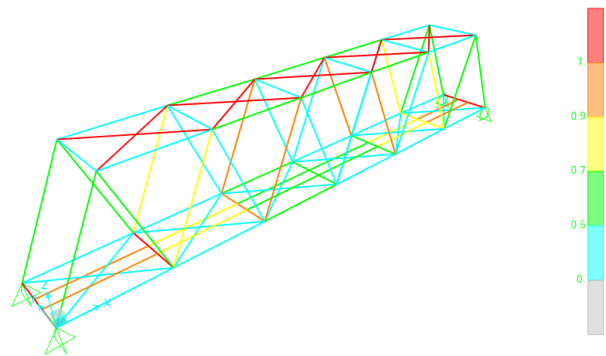
Kontrol Tegangan

Kondisi beban yang terjadi ketika dilakukan run analysis dapat dilihat pada Tabel 1.

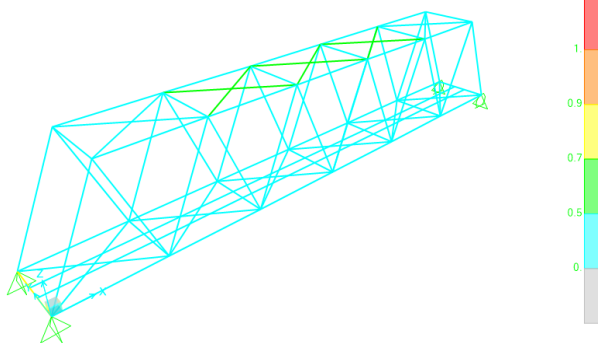
Tabel 1 Kondisi *Run Analysis* Pada Beban Yang Terjadi

No.	Case Name	Keterangan
1	DL	Aman
2	DL+ADL	Aman
3	DL+ADL+ANGIN	Aman
4	DL+ADL+ANGIN+KEJUT	Aman
5	DL+ADL+ANGIN+KEJUT+REM	Aman
6	DL+ADL+ANGIN+KEJUT+REM+LATERAL KA	Aman
7	DL+ADL+ANGIN+KEJUT+REM+LATERAL KA+REL LONG	Aman
8	DL+ADL+ANGIN+KEJUT+REM+LATERAL KA+REL LONG+SUHU	Aman
9	DL+ADL+ANGIN+KEJUT+REM+LATERAL KA+REL LONG+SUHU+GEMPA X&Y	Aman
10	DL+ADL+ANGIN+KEJUT+REM+LATERAL KA+REL LONG+SUHU+MOVING LOAD	Tidak Aman
11	DL+ADL+ANGIN+KEJUT+REM+LATERAL KA+REL LONG+SUHU+GEMPA X&Y+MOVING LOAD	Tidak Aman

Hasil *Run Analysis* dan *check structure* pada kondisi 1-9, *steel frame* aman terhadap beban-beban yang terdapat pada kondisi 1-9 ketika dilakukan *running* (Gambar 18). Pada kondisi ke 10 dan 11, beban kereta/*moving load* ditambahkan dan dilakukan *running*, keduanya memiliki nilai *capacity ratio* yang sama. Hasilnya menunjukkan terdapat 13 *steel frame* yang mengalami *failed capacity* atau kondisi tidak aman (Gambar 19). *Frame* yang mengalami *failed* ialah ikatan angin atas dan 3 gelagar melintang.

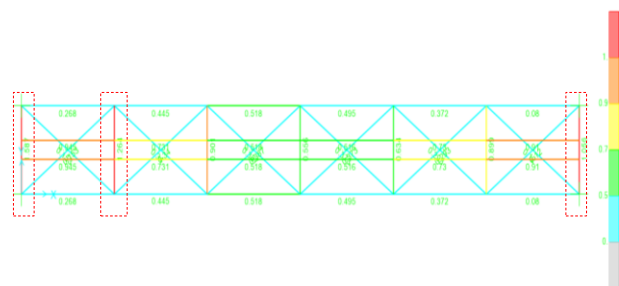


Gambar 19 Kondisi tidak aman

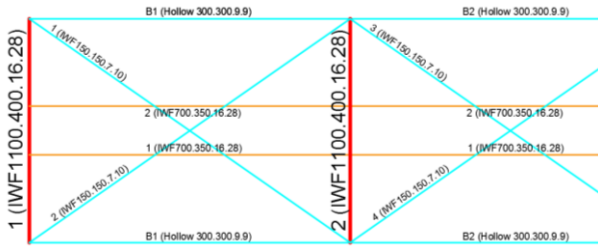


Gambar 18 Kondisi aman

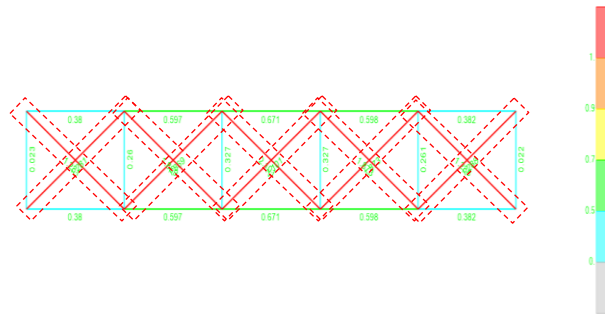
Terdapat 3 Batang/*frame* yang mengalami *overstressed* pada gelagar melintang yang berupa profil baja IWF1100.400.16.28. Grafik *ratio* batang/*frame* dapat dilihat pada Gambar 23 dan posisi batang/*frame* yang mengalami *overstressed* seperti yang terlihat pada Gambar 20, Gambar 21 dan Gambar 22.



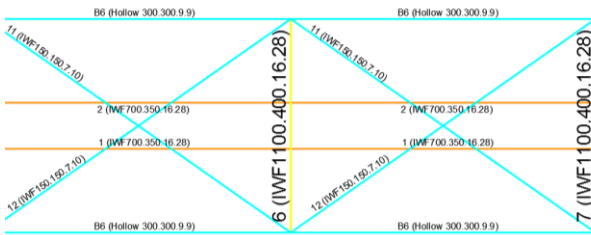
Gambar 20 Batang/*frame* gelagar melintang yang mengalami *overstressed*



Gambar 21 Batang/frame 1 & 2 (IWF1100.400.16.28) yang mengalami overstressed



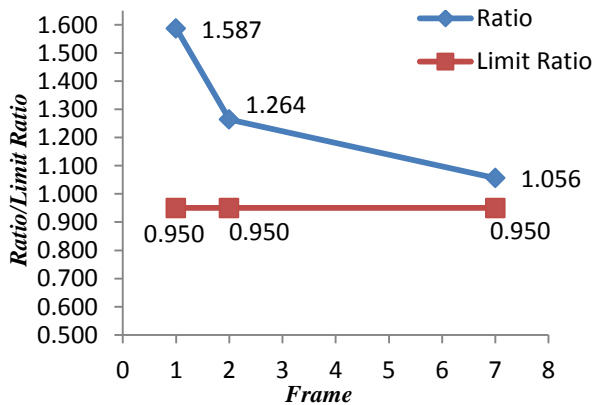
Gambar 24 Batang/frame ikutan angin atas yang mengalami overstressed



Gambar 22 Batang/frame 7 (IWF1100.400.16.28) yang mengalami overstressed

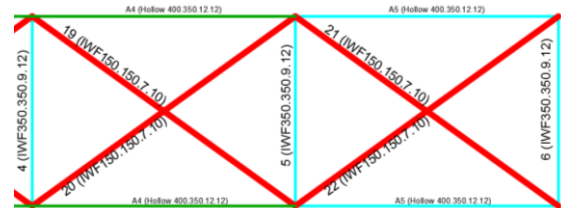


Gambar 25 Batang/frame 13-18 (IWF150.150.7.10) yang mengalami overstressed

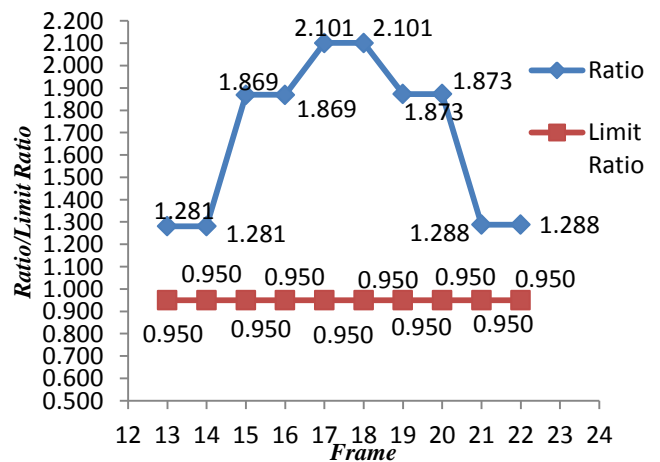


Gambar 23 Grafik ratio batang/frame 1, 2 dan 7 (IWF1100.400.16.28)

Terdapat 10 Batang/frame yang mengalami overstressed pada ikutan angin atas yang berupa profil baja IWF 150.150.7.10. Grafik ratio batang/frame dapat dilihat pada Gambar 27 dan posisi batang/frame yang mengalami overstressed seperti yang terlihat pada Gambar 24, Gambar 25 dan Gambar 26.



Gambar 26 Batang/frame 19-22 (IWF150.150.7.10) yang mengalami overstressed



Gambar 27 Grafik ratio batang/frame 13-22 (IWF150.150.7.10)

Hasil dari besaran tahanan pada batang/frame yang mengalami *overstressed*. Masing-masing batang/frame memiliki kapasitas besaran tegangan untuk dapat menahan tegangan yang terjadi pada batang/frame. Batang/frame yang mengalami tegangan terbesar terjadi pada batang tekan, yakni batang/frame 17 dan 18 (IWF150.150.7.10) dengan nilai P_u sebesar 25,324 ton dengan kapasitas $P_{n_{tekan}}$ sebesar 12,612 ton. Maka, batang/frame dinyatakan tidak aman terhadap besar tegangan tekan yang terjadi.

4. Kesimpulan

Dari hasil analisis yang didapat pada struktur jembatan kereta api rangka baja tipe warren dengan menggunakan *software* SAP2000 V.21. Maka, akan didapat kesimpulan sebagai berikut:

- a. Nilai *mode shapes* maksimum dari ketiga titik arah, yakni UX, UY dan UZ terjadi pada titik dengan pergerakan dominan ke arah UZ dengan *mode number* 6 sebesar 0,82536 satuan perpindahan dan dengan nilai periode 0,075276 detik. Untuk nilai periode (T) terbesar terjadi pada *mode number* 1 sebesar 0,37002 detik.
- b. *Displacement* maksimum terjadi pada 3 arah, yakni U1, U2 dan U3. Pada arah U1 di *joint* 51 sebesar 11,222773 mm, pada arah U2 di *joint* 54 sebesar -0,615116 mm dan pada arah U3 di *joint* 25 sebesar -36,437377 mm. Perilaku *displacement* pada arah U2 dan U3 berlawanan dengan arah sumbu U2 dan U3. Untuk *displacement* pada arah U3 merupakan lendutan yang terjadi, dengan nilai 36,437377 mm lebih kecil dari lendutan ijin, yaitu sebesar 52,5 mm. Maka, struktur dinyatakan aman.
- c. Struktur mengalami *field capacity* di 13 *steel frame* ketika beban gempa x&y dan beban kereta (*moving load*) aktif/run. Struktur yang mengalami *field capacity* pada gelagar melintang, yaitu batang/frame 1 (IWF1100.400.16.28), 2 (IWF1100.400.16.28), 7 (IWF1100.400.16.28) dan struktur yang mengalami *field capacity* pada ikatan angin atas, yaitu batang/frame 13-22

(IWF150.150.7.10) dengan nilai *capacity ratio* maksimum terdapat pada batang/frame 17 dan 18 (IWF150.150.7.10) sebesar 2,101 dan mengalami *overstressed*. Untuk nilai tahanan maksimum terdapat pada batang/frame 17 dan 18 (IWF150.150.7.10) sebesar 25,324 ton dengan kapasitas $P_{n_{tekan}}$ sebesar 12,612 ton. Maka, batang/frame dinyatakan tidak aman terhadap besar tegangan tekan yang terjadi.

5. Saran

Dari kesimpulan diatas, adapun saran yang harus dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Dapat mengganti dimensi profil pada batang/frame yang mengalami *overstressed*.
- b. Diperlukan studi perkuatan terhadap struktur rangka utama jembatan dengan menambah elemen-elemen batang/frame pada struktur rangka jembatan.
- c. Dapat dilakukan penelitian lanjut dengan menganalisis sambungan pada struktur rangka jembatan.
- d. Dapat dilakukan penelitian lebih lanjut dengan metode dinamik *time history*.
- e. Dapat dilakukan penelitian lanjut dengan mengevaluasi struktur jembatan akibat beberapa kombinasi beban gandar kereta api (*moving load*).

6. Daftar Pustaka

- Alantia, Fauzi. Mahardika, Ridha., 2018, *Detail Engineering Design Struktur Jembatan KA Lintas Babat-Tuban*, Tugas Akhir, D3 Teknik Sipil Politeknik Bandung, Bandung.
- BSN, 2016, SNI 2833:2016: *Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- BSN, 2016, SNI 1725:2016: *Pembebanan Untuk Jembatan*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- BSN, 2005, RSNI T-03-2015: *Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Chen, W. Duan, L., 2000, *Bridge Engineering Handbook*, CRC Press, Boca Raton.

- Erlangga, Aditya Wahyu. Atmaja, Dadang Sanjaya. Dewi, Puspita., 2017, Perancangan Superstructure Jembatan Kereta Api Bentang 100 Meter Tipe Rangka Baja. *Jurnal Perkeretaapian Indonesia*, Vol. 1 No. 1, 67-73.
- Fajrin, Achmad., 2017, Analisa Perencanaan Struktur Atas Jembatan Pelengkung Baja. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, Vol. 01 No. 01, 229-237.
- Indrianto, Haryadi., 2017, Analisa Perilaku Dinamik Struktur Atas Jembatan Mahakam IV MYC Samarinda. *Jurnal Teknologi Sipil*, Vol. 1 No. 2, 43-49.
- Kalesaran, Maria Astried., 2017, Respon Spektra Pada Fly Over Interchange Manado Bypass. *Jurnal Sipil Statik*. Vol. 5 No. 10, 689-698.
- Laksono, Farid Rozaq., 2017, *Modifikasi Perencanaan Jembatan Kalibambang Kab. Blitar-Kab. Malang Menggunakan Busur Rangka Baja*, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil & Perencanaan Institut Teknologi Surabaya, Surabaya.
- Mahadika, R. Dary Wira., 2017, Modifikasi Jembatan Buol Sulawesi Tengah Menggunakan Jembatan Busur Menerus Rangka Baja. *Jurnal Teknik ITS*, Vol. 6 No. 2, 185-190.
- PM Perhubungan, 2012, PM No.60 Tahun 2012: *Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api*, Peraturan Menteri Perhubungan, Jakarta.
- Rizqi, Mohammad Radja Nur., 2017, Pengaruh Gempa Terhadap Perilaku Jembatan Pelengkung Sultan Muhammad Ali Abdul Jalil Muazzamyah Riau Dengan Time History Analysis, *Jurnal Universitas Brawijaya*. Vol. 1, No. 2.
- Rosyidi, Sri Atmaja P., 2016, *Rekayasa Jalan Kereta Api*, LP3M Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta.
- S. Ressler., 2001, *Learning Activity 1-5 of Brifge Design Tutor*, Engineering Ecounter's Bridge Design Contest.
- Satyarno, I., 2003, *Analisis Struktur Jembatan*, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM. Yogyakarta.
- Shibeshi, Rahel Delelegne., 2015, *Dynamic Analysis of Steel Railway Bridge Subjected to Train Load*, Master Thesis, Department of Civil Engineering Faculty of Civil Engineering University of Pretoria, South Africa.
- Struyk, H.J ., Van der Veen, K.H.C.W., 1984, *Jembatan-Konstruksi*, Terjemahan Soemargono, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Supriatna, Lucky. Budiono, Bambang., 2011, *Studi Komparasi Desain Bangunan Tahan Gempa dengan Menggunakan SNI 03-1726-2002 dan RSNI 03-1726-201x*, Penerbit ITB, Bandung.
- Supriyadi, Bambang., Muntohar, Agus Setyo., 2007, *Jembatan*, Cetakan ke-5, Beta Offset, Yogyakarta.
- Suryanita, Reni., 2016, Respons Struktur Jembatan Beton Prategang Berdasarkan Spektrum Gempa Wilayah Sumatera, *Jurnal Sains dan Teknologi*. 15 (1), 18-24.
- Syafirra, Sonnia., 2018, Efek Gempa Dua Arah dan Tiga Arah Terhadap Kapasitas Struktur Jembatan Warren, *Jurnal Universitas Brawijaya*. Vol. 1, No. 2.
- Unsworth, John F., 2017, *Design and Construction of Modern Steel Railway Bridges*, Taylor & Francis, CRC Press, Boca Raton.
- Yilmaz, Mehmet F. Caglayan, Barlas O., 2018, Seismic Assesment of A Multi-Span Steel Railway Bridge in Turkey Based On Nonlinear Time History, *Journal of The European Geoscience Union*. Vol. 18, 231-240.
- Widyaningrum, Arnie., 2016, Pengaruh Perubahan Pembebanan Dan Beban Gempa Terhadap Kinerja Jembatan Sungai Serayu Di Patikraja Banyumas, *Jurnal Dinamika Rekayasa*. Vol. 12 No. 2, 65-69.