

# Perkuatan Struktur Jembatan Kereta Api Rangka Baja Tipe Warren Bentang 42 Meter Akibat Penurunan Mutu Baja 30% dan Pembebanan Gempa Sni 1725:2016 dengan Metode Penggantian Batang Lemah

*Reinforcement Railway Truss Bridge Warren Type of 42 Meters Due to Decreasing 30% Steel Quality and Earthquake Loading SNI 1725:2016 with Weak Rod Substitution Method*

**Bintang Noorrohmad Wahyu Nugroho, Bagus Soebandono**

*Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta*

**Abstrak.** Jembatan kereta api merupakan salah satu prasarana transportasi penting dalam memenuhi kebutuhan manusia. Seiring dengan bertambahnya usia suatu struktur, maka jembatan kereta api juga akan mengalami penurunan kapasitas yang disebabkan oleh faktor internal maupun faktor eksternal. Melihat dari kegunaan jembatan kereta api yang sangat penting, maka dibutuhkan struktur yang kuat serta mampu menjamin keamanan dan keselamatan. Perkuatan merupakan salah satu usaha untuk mengembalikan kapasitas muat suatu struktur sehingga mampu menahan beban yang terjadi. Dalam penelitian ini jembatan kereta api rangka baja tipe *warren* mengalami penurunan mutu baja sebesar 30%. Analisis dan pemodelan struktur rangka baja menggunakan *software* SAP2000 V.20 yang kemudian dilakukan perkuatan dengan mengganti elemen-elemen lemah pada struktur rangka baja. Hasil penelitian menunjukkan bahwa, nilai *mode shapes* maksimum setelah dilakukan perkuatan pada arah perpindahan UX memiliki nilai yang lebih besar 0,072% dari sebelum dilakukan perkuatan yaitu dari 0,825365 menjadi 0,825962 serta nilai periode (T) juga mengalami peningkatan sebesar 1,603% dari 0,370023 detik menjadi 0,375957 detik. Lendutan maksimum yang terjadi ditunjukkan pada *displacement* arah U3 joint 18 setelah dilakukan perkuatan mengalami penurunan sebesar 32,85% dari 36,437377 mm menjadi 24,467447 mm. Pada evaluasi tegangan, terdapat 25 batang yang mengalami *field capacity* yang kemudian dilakukan perkuatan dengan mengganti 17 batang dengan memperbesar dimensi profil sehingga seluruh batang tidak mengalami *field capacity*. Nilai tahanan maksimum pada batang yang tidak aman setelah dilakukan perkuatan menjadi lebih kecil dari 25,324 ton menjadi 23,861 ton dengan kapasitas yang meningkat dari 12,612 ton menjadi 34,824 ton.

Kata kunci: Jembatan kereta api, penurunan mutu, perkuatan rangka baja, *mode shapes*, lendutan, tegangan

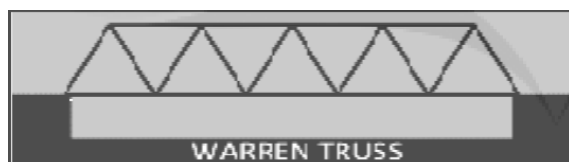
**Abstract.** *Railway bridges are an important transportation infrastructure in meeting human needs. Along with the increasing age of a structure, the railroad bridge will also experience a decrease in capacity caused by internal and external factors. Seeing the use of a railroad bridge that is very important, strong structure and able to guarantee safety and security are needed. Reinforcement is an effort to restore the load capacity of a structure that it can withstand the burden that occurs. In this research the warren type steel frame railroad bridge experienced a decline in steel quality by 30%. Analysis and modeling of steel frame structure using SAP2000 V.20 software which was then reinforced by replacing weak elements in the steel frame structure. The results showed that the maximum of mode shapes after reinforcement in the directions of UX has a worth of 0.072% greater than before reinforcement from 0,825365 to 0,825962 and the period value (T) also increased by 1.603% from 0,370023 seconds to 0.375957 seconds. The maximum deflection that is occurs shown in the direction of U3 joint 18 displacement after reinforcement has decreased by 32.85% from 36.437377 mm to 24.467447 mm. At stress evaluation, there are 25 rods that experience field capacity, which is then reinforced by replacing 17 rods by enlarging the profile dimensions so that the entire stem does not experience field capacity. The maximum resistance value on the unsafe rod after the reinforcement is smaller than 25,324 tons to 23,861 tons with an increased capacity from 12,612 tons to 34,824 tons.*

**Keywords:** *Railway bridges, quality degradation, steel frame reinforcement, mode shapes, deflection, stress.*

## 1. Pendahuluan

Jembatan merupakan struktur yang memiliki fungsi untuk menghubungkan jalan yang melalui lembah, jurang, sungai bahkan laut sehingga akses dari satu daerah ke daerah lain menjadi lebih mudah dan cepat. Kereta api menjadi salah satu moda transportasi yang digemari oleh masyarakat karena lebih cepat dengan tarif yang terjangkau sehingga infrastruktur transportasinya harus selalu dalam kondisi baik, salah satunya jembatan kereta api rangka baja. Dalam masa gunanya, Jembatan kereta api rangka baja mengalami penurunan mutu yang mempengaruhi kekuatan struktur dan kualitas layan jembatan tersebut yang diakibatkan faktor internal dan faktor eksternal. Agar jembatan selalu dalam kondisi baik maka harus diperhatikan kelayakan struktur atas akibat penurunan mutu dan pepebenanan gempap yang ditinjau berdasarkan *mode shape*, lendutan, dan tegangan sehingga dapat dilakukan perkuatan apabila sudah tidak layak fungsi.

Menurut Supriyadi dan Muntohar (2007), jembatan pada awalnya hanya sebatang pohon yang ditumpangkan untuk menyebrangi sungai hingga penggunaan beton dan baja dengan berbagai tipe dan metode pelaksanaannya. Jembatan rangka tersusun dari struktur rangka yang biasa berasal dari material baja yang disusun dengan menyambungkan beberapa batang dengan baut atau las sehingga membentuk pola segitiga (Satyarno,2003). Perkuatan jembatan merupakan usaha untuk mengembalikan kapasitas muat jembatan sebagaimana kondisi desain awal jembatan (No.004/BM/2009 tentang Pemeriksaan Jembatan Rangka Baja).



Gambar 1 Jembatan rangka tipe *warren* (Satyarno, 2003)

Analisis mengenai evaluasi dan perbaikan struktur jembatan rangka baja pernah dilakukan oleh Handayani (2013) secara analitis yang kemudian dimodelkan

menggunakan SAP 2000. Yudhistira (2014) juga melakukan penelitian untuk memprediksi penurunan kapasitas struktur rangka jembatan dengan metode *Artificial Neural Network* (AAN) yang menjadi pengembangan dari metode *Bridge Management System* (BMS).

Banyak metode yang dapat dilakukan untuk perkuatan jembatan rangka baja. Model perkuatan menggunakan prategang eksternal yang dilakukan Rasidi dkk. (2017) dengan penyokong dan tanpa penyokong, Hadi dan Leo (2018) dengan perbedaan bentuk trase kabel prategang yang berbeda-beda, serta Zulkarnain (2013) dengan pemodelan berupa miniatur jembatan rangka baja dengan skala 1:20. Analisis perbandingan metode perkuatan dengan prategang eksternal dengan prategang internal bentuk segitiga pernah dilakukan oleh Budio dkk. (2009). Selain perkuatan menggunakan metode prategang eksternal metode perkuatan lain pernah dilakukan oleh Simatupang dkk. (2016) dengan memperkuat sambungan jembatan menggunakan profil baja ringan C-75 serta Taurus (2013) melakukan perkuatan menggunakan Glass Fiber-Reinforced Polymer (GFRP) pada plat lantai jembatan.

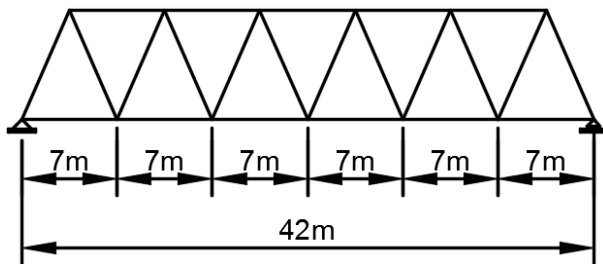
Rumusan masalah yang terjadi ialah, bagaimana perbandingan perilaku struktur rangka atas jembatan kereta api sebelum dan setelah dilakukan perkuatan akibat penurunan mutu baja 30% dan pembebanan gempap SNI 1725:2016. Perilaku yang dimaksud disini ialah *mode shape*, lendutan dan besar tegangan pada struktur rangka baja. Tujuan dari penelitian ini untuk menganalisis dan mengkaji perbandingan perilaku struktur rangka atas jembatan sebelum dan setelah dilakukan perkuatan dengan meninjau nilai periode dari *mode shape*, hasil *displacement* dan besar tegangan akibat penurunan mutu baja 30% dan pembebanan gempap SNI 1725:2016. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pengetahuan dan alternative dalam perkuatan jembatan rangka baja tipe warren setelah mengalami penurunan mutu baja sebesar 30%..

## 2. Metode Penelitian

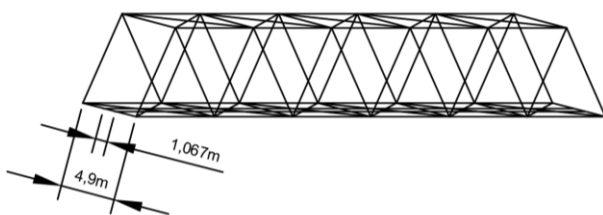
Pada penelitian ini, jembatan yang menjadi objek analisis pada penelitian ini merupakan jembatan kereta api di wilayah operasional Lampung.

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 2 Ukuran panjang bentang dan tinggi jembatan



Gambar 3 Ukuran lebar jembatan

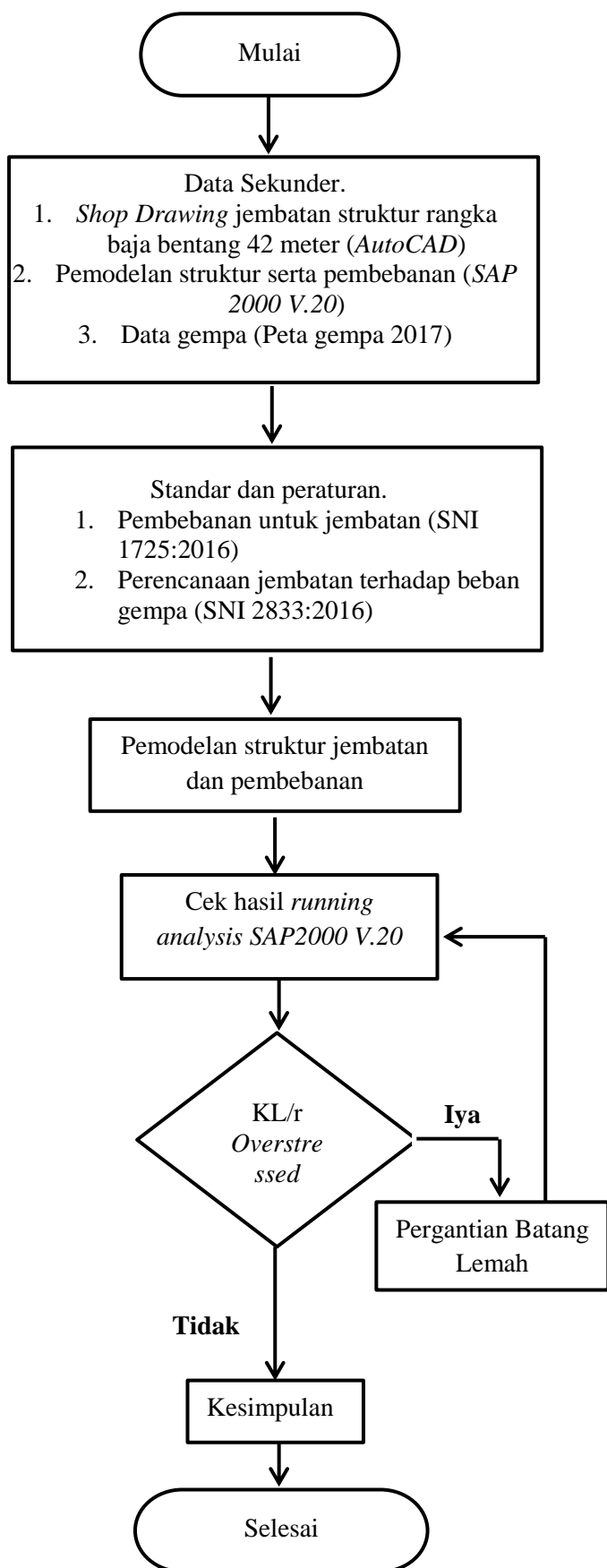
Material yang digunakan pada penelitian ini ialah profil baja (ASTM A36) yang memiliki tegangan leleh sebesar 36 ksi ( $f_y = 2531 \text{ kg/cm}^2$ ) yang diturunkan sebesar 30% sehingga tegangan lelehnya menjadi  $f_y = 1771,7 \text{ kg/cm}^2$  dengan modulus elastisitas baja sebesar  $2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ . Kemudian mengganti *frame* baru dengan memperbesar dimensi dengan mutu 100%. 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 2010* 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:

- 1) Pembebanan untuk jembatan (SNI 1725:2016)
- 2) PM No. 60 Tahun 2012, Tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api
- 3) PD No. 10 Perencanaan Konstruksi Jalan Rel
- 4) Perencanaan jembatan terhadap beban gempa (SNI 2833:2016)
- 5) Peta Gempa 2017
- b. Memodelkan struktur jembatan dengan program analisis struktur, disini peneliti menggunakan *software SAP2000 V.20*.
- c. Menentukan jenis profil baja pada masing-masing bagian pada jembatan dengan *software SAP2000 V.20*.
- d. Memasukkan beban-beban yang telah diperhitungkan pada model struktur yang telah dibuat pada *software SAP2000 V.20*. 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.
- e. Membuat model beban hidup yang berupa muatan gerak dari kereta api dengan menggunakan fasilitas *moving load* pada *software SAP2000 V.20*.
- f. Menentukan kombinasi pembebanan yang akan di-*input* pada model struktur jembatan yang telah di buat pada *software SAP2000 V.20*. Kombinasi pembebanan dilakukan untuk menentukan beban maksimum yang bekerja dari semua beban-beban yang telah di-*input* pada model struktur jembatan.
- g. Melakukan pengecekan terhadap model struktur jembatan yang telah di buat pada *software SAP2000 V.20*. Hal penting yang harus di cek ialah jenis dan dimensi profil yang di modelkan dan beban-beban yang berkerja pada jembatan.
- h. Melakukan "*Run Analysis*" untuk mendapatkan *output*/hasil analisis struktur dari pemodelan jembatan yang telah dibuat.
- i. Melakukan perkuatan dengan mengganti elemen serta memperbesar dimensi dengan mutu baja A36 100% ( $f_y = 2531 \text{ kg/cm}^2$ )



Gambar 4 Diagram alir

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### Mode Shape

Nilai *mode shape* maksimum yang terjadi ke arah pergerakan dominan UX pada *step number mode* 6 sebelum perkuatan sebesar 0,82536 satuan perpindahan dengan nilai periode 0,075276 detik dan setelah perkuatan sebesar 0,825962 satuan perpindahan dengan nilai periode 0,073472 detik. Untuk pergerakan dominan ke arah UY sebelum perkuatan terjadi pada *step number mode* 1 sebesar 0,432378 satuan perpindahan dengan nilai periode 0,370023 detik dan setelah perkuatan terjadi pada *step number mode* 2 dengan nilai sebesar 0,442645 satuan perpindahan dengan nilai periode 0,17412 detik. Untuk pergerakan dominan ke arah UZ terjadi pada *step number mode* 4 sebelum perkuatan sebesar 0,7308 satuan perpindahan dengan nilai periode 0,124213 detik dan setelah perkuatan sebesar 0,742044 dengan nilai periode 0,124167 detik. Periode getar (T) terbesar yang terjadi pada struktur jembatan sebelum perkuatan sebesar 0,37002 detik dan setelah perkuatan sebesar 0,37595 detik pada *mode* 1.

Tabel 1 Nilai *Ratio Mode Shape* Maksimum Sebelum Perkuatan

Mode Number	Period (second)	UX	UY	UZ
6	0,0752	0,8253	6,4E-18	0,0650
1	0,3700	0	0,4323	0
4	0,1242	0,0938	0	0,7308

Tabel 2 Nilai *Ratio Mode Shape* Maksimum Setelah Perkuatan

Mode Number	Period (second)	UX	UY	UZ
6	0,0734	0,8259	1,3E-17	0,0470
2	0,1741	0	0,4426	2,9E-20
4	0,1241	0,0706	1,1E-20	0,7420

#### Displacement

Perbandingan nilai *displacement* maksimum pada arah U1 terjadi pada *joint* 51 sebelum perkuatan sebesar 11,222773 mm dan setelah perkuatan sebesar 6,877212 mm, pada arah U2 *displacement* maksimum terjadi pada *joint* 54 sebelum perkuatan sebesar -0,615116 mm dan setelah perkuatan sebesar -0,53632

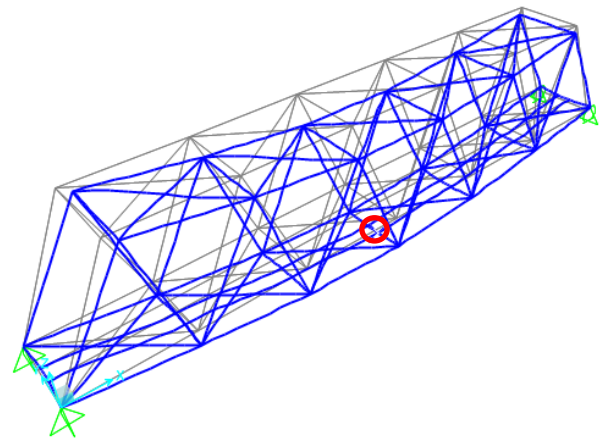
mm . Pada arah U3 *displacement* maksimum terjadi pada *joint* 18 sebelum perkuatan sebesar -36,437377 mm dan setelah perkuatan sebesar -24,467447 mm. Tanda min (-) menunjukkan arah *displacement* berlawanan dengan arah sumbu U2 dan U3.

Tabel 3 Nilai *Displacement* Maksimum Sebelum Perkuatan

<i>Joint</i>	U1 (mm)	U2 (mm)	U3 (mm)
51	11,222	0,0039	-2,5004
54	0,9532	-0,6151	-33,340
18	1,4419	-0,0260	-36,437

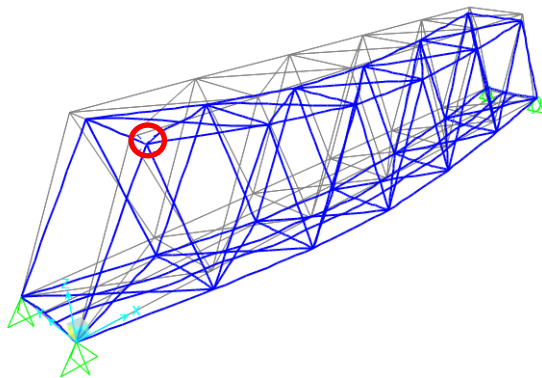
Tabel 4 Nilai *Displacement* Maksimum Setelah Perkuatan

<i>Joint</i>	U1 (mm)	U2 (mm)	U3 (mm)
51	6,8772	-0,0117	-2,4004
54	0,7464	-0,5363	-22,277
18	1,2538	-0,0172	-24,467

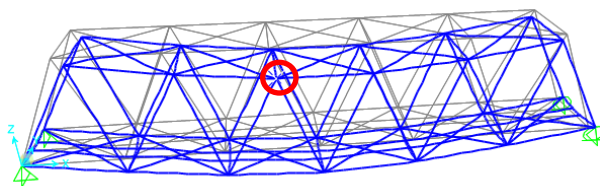


Gambar 7 *Displacement Joint* 18

Lendutan pada struktur ditunjukkan oleh *displacement* maksimum pada arah perpindahan U3, Hasil *displacement* yang terjadi pada arah perpindahan U3 sebelum perkuatan memiliki nilai sebesar 36,437377 mm dan setelah perkuatan sebesar 24,467447 mm berlawanan arah U3 lebih kecil dibandingkan dengan nilai lendutan ijin, yaitu sebesar 52,5 mm. Maka, struktur dinyatakan aman terhadap lendutan yang terjadi.



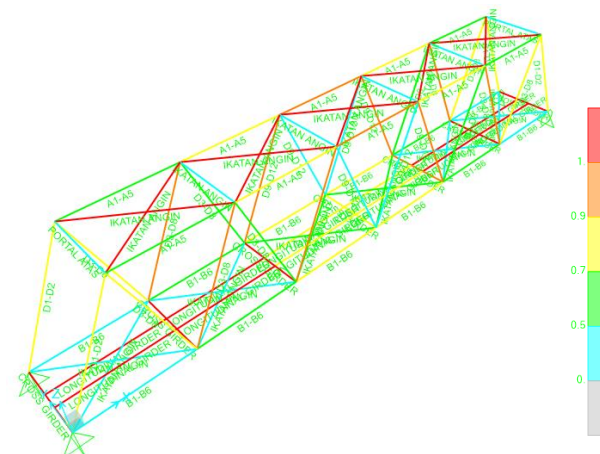
Gambar 5 *Displacement Joint* 51



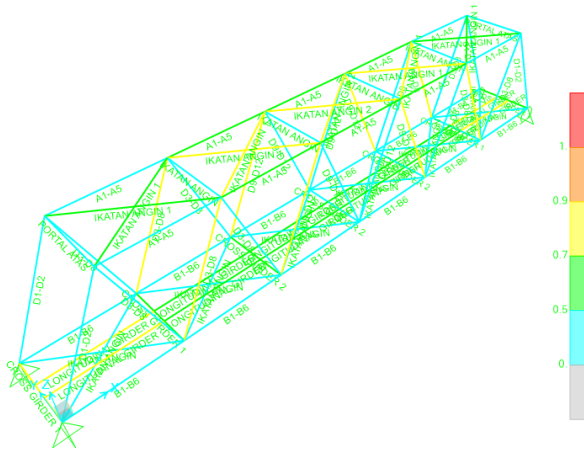
Gambar 16 *Displacement Joint* 54

#### Besar Tegangan

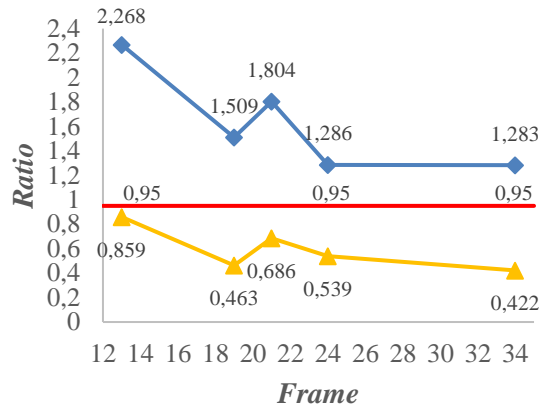
Hasil *Run Analysis* dan *check structure*, menunjukkan sebelum terdapat 25 *steel frame* yang mengalami *failed capacity* yaitu pada 2 *frame* rangka utama, 10 *frame* ikatan angin atas, 5 *frame* gelagar melintang dan 8 *frame* gelagar memanjang. Kemudian dilakukan perkuatan dengan mengganti dimensi profil 10 *frame* ikatan angin atas dan 7 *frame* gelagar melintang sehingga seluruh *frame* sudah tidak mengalami *failed*.



Gambar 8 Kondisi sebelum perkuatan

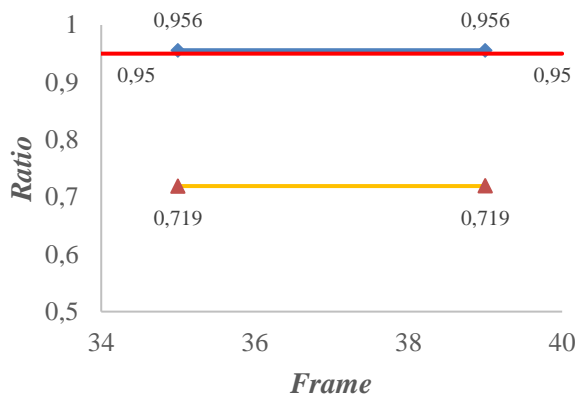


Gambar 9 Kondisi setelah perkuatan



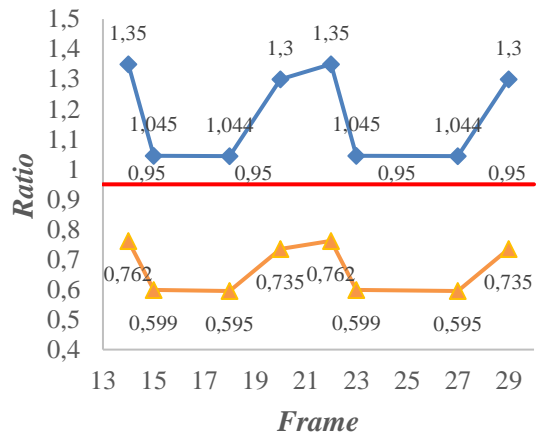
sebelum perkuatan setelah perkuatan limit ratio

Gambar 11 Grafik perbandingan nilai *ratio* pada gelagar melintang



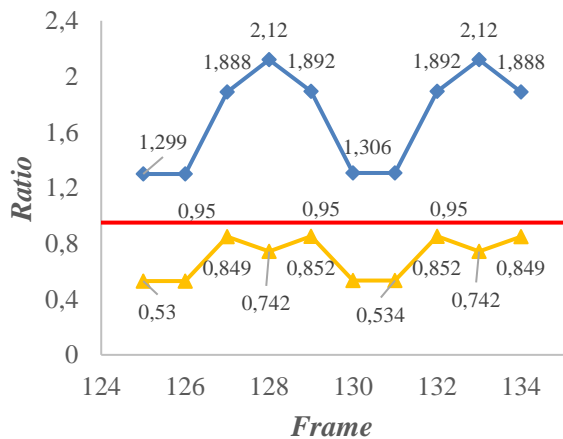
sebelum perkuatan setelah perkuatan limit ratio

Gambar 14 Grafik perbandingan nilai *ratio* frame 35 dan 36 rangka utama



sebelum perkuatan setelah perkuatan limit ratio

Gambar 12 Grafik perbandingan nilai *ratio* pada gelagar memanjang



sebelum perkuatan setelah perkuatan limit ratio

Gambar 10 Grafik perbandingan nilai *ratio* pada ikatan angin atas

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil analisis yang didapat pada struktur jembatan kereta api rangka baja tipe warren dengan menggunakan *software* SAP2000 V.20. Maka, didapat kesimpulan sebagai berikut:

- a. Nilai *mode shape* maksimum dari ketiga titik arah, yakni UX, UY dan UZ terjadi pada titik dengan pergerakan dominan ke arah UZ dengan *step number mode* 6 sebesar 0,82536 satuan perpindahan dan dengan nilai periode 0,075276 detik. Untuk nilai periode (T) terbesar terjadi pada *step number mode* 1 sebesar 0,37002 detik. Nilai *mode shapes* maksimum setelah dilakukan perkuatan pada *step number mode* 6 pada arah perpindahan UX memiliki nilai yang lebih besar dari sebelum dilakukan perkuatan yaitu dari

sebesar 0,82536 menjadi 0,825962 satuan perpindahan, sedangkan untuk nilai periode memiliki nilai lebih besar yaitu dari 0,37002 detik menjadi 0,375957 detik.

- b. *Displacement* terjadi pada 3 arah perpindahan, yaitu U1, U2, dan U3. Pada arah perpindahan U1 di joint 51 sebelum perkuatan sebesar 11,222773 mm dan setelah perkuatan sebesar 6,877212 mm, pada arah U2 di joint sebelum perkuatan sebesar 0,615116 mm dan setelah perkuatan sebesar 0,53632 mm, pada arah perpindahan U3 di joint sebelum perkuatan sebesar 36,437377 mm dan setelah perkuatan sebesar 24,467447 mm. Lendutan pada struktur ditunjukkan oleh *displacement* pada arah perpindahan U3, sehingga lendutan setelah dilakukan perkuatan lebih kecil dari sebelum dilakukan perkuatan yang mana lebih kecil dari ijin sebesar 52,5 mm. Maka, dengan dilakukannya perkuatan struktur dinyatakan lebih kaku dan lebih aman terhadap lendutan.
- c. Struktur sebelum dilakukan perkuatan mengalami *field capacity* sebanyak 25 batang/*frame*, kemudian dilakukan perkuatan dengan mengganti 17 batang/*frame* dengan memperbesar profil sehingga seluruh batang/*frame* tidak mengalami *field capacity*.
- d. Nilai tahanan maksimum pada batang/*frame* yang tidak aman setelah dilakukan perkuatan lebih kecil sebelum dilakukan perkuatan yaitu pada batang/*frame* 128 (IWF150.150.7.10) dari 25,324 ton menjadi 23,861 ton dengan kapasitas dari 12,612 ton menjadi 34,824 ton. Maka setelah dilakukan perkuatan dapat dinyatakan bahwa batang/*frame* menjadi aman terhadap besar tegangan tekan yang terjadi.

## 5. Saran

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

- a. Bagi pihak pemelihara jembatan agar melakukan penggantian batang/*frame* lemah sehingga mutu dan kapasitas jembatan tetap aman dan nyaman.

- b. Diperlukan penelitian lanjut mengenai perkuatan lain agar dapat membandingkan hasil serta mengetahui jenis perkuatan yang efektif dan efisien.
- c. Diperlukan penelitian mengenai penurunan mutu baja pada sistem rangka sehingga perkiraan penurunan tiap tahun dapat diprediksi dengan lebih tepat.

## 6. Daftar Pustaka

- Asiyanto, 2008, *Metode Konstruksi Jembatan Rangka Baja*. Jakarta: Universitas Indonesia (UI-Press).
- Badan Standarisasi Nasional., 2005, RSNI T-03-2015 *Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan*. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional., 2016, SNI 1725:2016 *Pembebanan Untuk Jembatan*. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional., 2016, SNI 2833:2016 *Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa*. Jakarta.
- Budio, Sugeng P., Wibowo, Ari dan Antara, I Komang., 2009, Prosentase Penurunan Lendutan Model Jembatan Rangka Baja Akibat Penggunaan Kabel Prategang Internal Tipe Segitiga. *Rekayasa Sipil*, 3(1), 37-49.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1992, *Bridge Management System*. Jakarta.
- Dewobroto, W., 2016, *Struktur Baja Perilaku Analisis dan Desain AISC 2010*. Jakarta: Jurusan Teknik Sipil UPH.
- Hadi, Nicolas dan Leo, Edison., 2018, Analisis Perbandingan Jembatan rangka Baja engan Metode Prategang Eksternal Ditinjau dari Bentuk Trase Kabel Prategang. *Jurnal Mitra Teknik*, 1(1), 230-239.
- Handayani, Tri., 2013, Evaluasi Penyebab Kegagalan dan Perbaikan Struktur jembatan Rangka Baja dengan Bentang 53 Meter. *M. I. Mat. Konst.*, 13, 17-25.
- Indrianto, Haryadi., 2017, Analisa Perilaku Dinamik Struktur Atas Jembatan Mahakam IV MYC Samarinda, *Jurnal Teknologi Sipil*, 1(2), 43-49.
- Peraturan Menteri Perhubungan., 2012, PM No.60 Tahun 2012 *Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api*. Jakarta.

- Rasidi, Nawir, Ningrum, Diana dan S.W, Lalu Gusman., 2017, Analisis Alternatif Perkuatan Jembatan Rangka Baja (Studi Kasus : Jembatan Rangka Baja Soekarno-Hatta Malang). Program Studi Teknik Sipil Universitas Tribhuwana Tungadewi, Malang.
- Rosyidi, Sri Atmaja P., 2016, *Rekayasa Jalan Kereta Api*. Yogyakarta: LP3M Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Simatupang, Martin Rolan, Laksono, Susanti, Lilya dan Perkasa, Erlangga Adang., 2016, Studi Analisis dan Eksperimental Pengaruh Perkuatan Sambungan pada Struktur Jembatan Rangka Canai Dingin Terhadap Lendutannya. *Rekayasa sipil*, 10(3), 205-210.
- Satyarno, Imam., 2003, *Analisis Struktur Jembatan*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada.
- Struyk, H.J ., Van der Veen, K.H.C.W., 1984, *Jembatan-Konstruksi*. Terjemahan Soemargono. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Supriyadi, Bambang., Muntohar, Agus Setyo., 2007, *Jembatan*. Cetakan ke-5. Yogyakarta: Beta Offset.
- Syafirra, Sonnia., 2018, Efek Gempa Dua Arah dan Tiga Arah Terhadap Kapasitas Struktur Jembatan Warren, *Jurnal Mahasiswa*,1(2).
- Taurus, Fery., 2013., Kinerja Jembatan Ranka Baja Yang Diperkuat Dengan GFRP (Glass Fiber-Reinforced Polymer). *Jurnal Rekayasa*, 17(2), 123-132.
- Yudhistira, Angga Trisna., 2014, *Perdiksi Penurunan Kapasitas Struktur Atas Jembatan Rangka Baja Dengan Metode Artificial Neural Network: Tesis Minat Studi Teknik Struktur Program S2 Teknik Sipil*, Tesis, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Zulkarnain, Alexander., 2013, *Pemodelan Jembatan Rangka Baja Dengan Perkuatan Pratekan Eksternal*. Jurusan Teknik Sipil Mercu Buana, Jakarta.