

PENGARUH PENGENCANGAN BAUT TERHADAP FREKUENSI NATURAL PADA MODEL JEMBATAN RANGKA BAJA

Andreas Brian V P, Ari Wibowo, Lilya Susanti

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jl. MT. Haryono 167 Malang, 65145, Jawa Timur – Indonesia
Email: andreasbrian.variinanda11@gmail.com

ABSTRAK

Saat ini, frekuensi natural pada jembatan rangka baja menjadi permasalahan utama dalam hal studi kelayakan jembatan. Besar kecilnya frekuensi natural ini dipengaruhi oleh besar pengencangan sambungan baut pada masing-masing buhul jembatan rangka baja.

Hasil pengujian tarik profil baja ini menghasilkan tegangan leleh (f_y) dan tegangan putus (f_u) secara berturut-turut sebesar 353,041 MPa dan 514,773 MPa sehingga dapat disimpulkan bahwa profil baja yang digunakan dalam model jembatan rangka baja ini merupakan profil baja dengan mutu BJ-50. Pada pengujian frekuensi natural dengan urutan pengencangan baut dari yang Besar ke Kecil (2,0 kgfm – 1,2 kgfm – 0,2 kgfm) dan pengencangan baut dari Kecil ke Besar, didapatkan beberapa kesimpulan yakni pada hasil frekuensi natural pada kedua kondisi diatas dapat dikatakan bahwa pada pengencangan 0,2 kgfm ke 1,2 kgfm frekuensi natural meningkat secara signifikan sedangkan pada pengencangan 1,2 kgfm ke 2,0 kgfm frekuensi natural meningkat secara marginal (tidak secara signifikan). Dilihat dari tren pada kedua kondisi grafik secara keseluruhan, semakin besar kuat kencang baut frekuensi natural juga semakin meningkat.

Kata kunci : jembatan rangka baja, sambungan baut, kuat kencang baut, frekuensi natural

ABSTRACT

Currently, the natural frequency of the steel truss bridge become main issues of the feasibility study of the bridge. The size of the natural frequency is influenced by the tightening bolts on each joint steel truss bridge.

The results of tensile test of steel profiles have resulted that yield stress (f_y) and ultimate stress (f_u) is 353.041 MPa and 514.773 MPa so that it can be concluded that the profile of the steel used in the steel truss bridge model is quality steel BJ-50. On natural frequency testing within condition bolt tightening from large to small (2,0 kgfm – 1,2 kgfm – 0,2 kgfm) and condition bolt tightening from small to large (0,2 kgfm – 1,2 kgfm – 2,0 kgfm), have some conclusion that result of natural frequency in both can be said that tightening bolt form 0,2 kgfm to 1,2 kgfm natural frequency increased significantly, and while the tightening bolt form 1,2 kgfm to 2,0 kgfm natural frequency increased marginally (not significantly). So from the trend in overall conditions of the graph concluded the bigger tightener bolt natural frequency is also increasing.

Keyword : steel truss bridge, bolt connection, bolt tightening, natural frequency

PENDAHULUAN

Dengan kondisi topografi di Indonesia yang terdiri dari banyak suatu rintangan pemisah antar suatu daerah seperti sungai maka diperlukan suatu prasarana infrastruktur transportasi untuk menghubungkan suatu tempat yang terpisah tersebut. Prasarana infrastruktur transportasi tidak lain adalah jembatan. Jembatan merupakan sarana transportasi yang menghubungkan satu tempat ke tempat lain yang dipisahkan oleh rintangan akibat kondisi topografi yang memisahkan tempat tersebut.

Jembatan juga harus menunjukkan kemampuan layan supaya tidak membuat resah para penggunaannya. Kemampuan layan jembatan dapat ditinjau dari aspek getaran, lendutan, dan batas usia fatik jembatan sebagai contohnya.

Getaran menjadi salah satu aspek yang harus dipertimbangkan dalam merencanakan suatu konstruksi jembatan. Dari segi aspek keamanan dan kenyamanan, jembatan rangka baja menjadi alternatif dalam pemilihan konstruksi jembatan bentang panjang. Getaran yang terjadi pada jembatan rangka baja sangatlah besar jika dibandingkan dengan jembatan lainnya. Hal ini disebabkan oleh material pada jembatan rangka baja dihubungkan satu dengan yang lain sehingga kekakuan jembatan rangka baja sangat besar. Selain itu, pengencangan sambungan baut pada jembatan rangka baja menjadi titik utama permasalahan dalam besar kecilnya getaran yang terjadi pada jembatan tersebut.

Pengencangan sambungan baut pada jembatan rangka baja menjadi masalah dalam getaran yang terjadi pada jembatan. Pengencangan pada sambungan baut mengakibatkan efek nonlinier pada redaman struktural dan frekuensi alami struktur. Kuat kencang baut berpengaruh penuh pada getaran yang terjadi pada jembatan rangka baja mengingat jembatan rangka baja memiliki getaran yang cukup besar dibandingkan dengan jembatan lainnya.

Berdasarkan uraian di atas, maka sangat penting untuk dilakukan penelitian mengenai pengaruh kuat kencang baut terhadap model jembatan rangka baja. Selain itu, dari penelitian ini juga diharapkan memperoleh data besar pengencangan pada jembatan rangka baja supaya menghasilkan getaran yang tidak terlalu besar pada jembatan rangka baja pada umumnya.

TINJAUAN PUSTAKA

Jembatan Rangka Baja

Jembatan merupakan suatu sarana yang menghubungkan dua tempat terpisah oleh jurang ataupun sungai. Jembatan berdasarkan sistem struktur penerima beban dibagi struktur atas (*super structure*) dan struktur bawah (*sub structure*). Menurut bentuk gelagarnya jembatan ada berbagai macam salah satunya adalah jembatan rangka. Jembatan rangka merupakan jembatan dengan gelagar dinding penuh yang disusun dari panel panel baja dan dirangkai satu persatu dengan baut. (Bina Marga, 2008)

Jembatan rangka baja adalah jembatan yang terdiri material baja dimana masing-masing elemen baja pada rangka utamanya menerima gaya aksial tekan dan tarik saja tanpa ada gaya yang lainnya. Seiring dengan perkembangan jaman, bentuk jembatan rangka sangat beragam. Hal ini dikarenakan perlu kombinasi antara elemen jembatan agar jembatan mampu memberikan kekuatan berlebih dari penemuan kombinasi elemen yang terdahulu.

Sambungan Baut

Sambungan merupakan suatu elemen struktur yang berfungsi untuk menyambungkan dua atau lebih komponen yang terpisah. Struktur jembatan merupakan bangunan yang menerima beban dinamis sehingga rentan terhadap fatik atau kelelahan. Oleh karena itu, sambungan-sambungan pada jembatan khususnya jembatan rangka baja menggunakan *High Strength Friction Grip Bolts* (HSFG) atau sering disebut baut mutu tinggi dengan cengkeraman friksi. Prinsip kerja sambungan baut mutu tinggi pada struktur jembatan berupa gaya jepit akibat gaya tarik (tension) baut sehingga gaya friksi antara pelat yang dijepit berfungsi sebagai penahan beban yang bekerja.

Tipe sambungan baut ada dua yakni, sambungan tipe geser dan tipe tumpu. Pada sambungan tipe geser, baut dan pelat buhul bekerja bersama-sama tetapi jika beban yang terjadi melampaui tahanan yang diterima sambungan baut akan mengalami keruntuhan (patah) dan pelat masih dalam keadaan utuh. Sedangkan pada sambungan tipe tumpu, baut yang semula sentris pada tengah bagian baut akan berpindah (menumpu) pada pelat sehingga baut tidak berada pada kedudukan awal sehingga pada keadaan beban yang melampaui tahanan sambungan maka akan terjadi sobek pada pelat dan baut masih dalam keadaan utuh.

Kunci Torsi

Kunci torsi adalah alat yang digunakan untuk mengencangkan baut pada kuat kencang tertentu dalam satuan gaya dikalikan panjang. Pada kunci

torsi ini terdapat skala bacaan yang menunjukkan bahwa sambungan baut dakam keadaan kencang telah diatur kuat kencangnya. Kegunaan lain dari kunci torsi ini dipakai pada pengerjaan akhir setelah baut dan mur dieratkan. Awalnya pengguna harus membuat lebih kencang dengan memakai kunci biasa (kunci ring, kunci soket, dan juga kunci pas) terlebih dahulu. Setelah diperkirakan baut dan mur sedikit kencang, pengencangan selanjutnya dieratkan dengan kunci torsi yang sudah diatur kekuatan kencangnya. Kunci torsi juga dapat memperkirakan kekuatan kencang baut dan mur, sehingga secara otomatis dapat menghindari *clamping force* yang berlebihan pada profil baja yang disambung.

Alat Pengukur Getaran

Alat pengukur getaran ini terdapat pada aplikasi iPhone yang bernama *Vibration*. Aplikasi ini dapat mengukur berapa frekuensi yang terjadi pada benda yang dikenai getaran dengan satuan alat ukur frekuensi Hz. Dalam pengukuran getaran pada aplikasi *Vibration* ini menghasilkan beberapa puncak gelombang diantaranya puncak pertama (PP) dan puncak tertinggi (PT) dimana nantinya digunakan acuan untuk mengukur berapa besar getaran yang terjadi.

Getaran

Getaran adalah gerakan osilasi atau gerakan bolak-balik dalam waktu tertentu. Besarnya getaran yang terjadi pada sebuah struktur sangat bergantung pada gaya yang mengenai struktur tersebut. Berdasarkan gaya yang bekerja pada struktur getaran dibagi menjadi dua yakni, getaran bebas dan getaran paksa. Getaran bebas adalah getaran yang diakibatkan oleh beban struktur itu sendiri tanpa adanya gangguan dari beban luar sehingga struktur secara bebas untuk bergetar. Sedangkan untuk getaran paksa adalah getaran yang diakibatkan oleh gaya luar yang bekerja pada struktur itu. Gaya luar yang terjadi pada struktur itu bergetar dengan satuan waktu tertentu sehingga gaya tersebut memiliki frekuensi dimana frekuensi gaya luar ini memiliki nilai yang sama dengan frekuensi natural struktur maka struktur akan mengalami deformasi yang tidak tercapai batasnya sehingga dapat mengakibatkan struktur menjadi runtuh. Di kondisi aslinya, pemeriksaan getaran jembatan dilakukan untuk mengetahui apakah perilaku getaran jembatan yang ada masih memenuhi kriteria-kriteria getaran jembatan atau tidak. Kriteria-kriteria getaran pada jembatan tersebut yaitu meliputi kriteria kekakuan, kriteria daya layan, kriteria kapasitas beban, dan kriteria redaman. Pengujian

getaran dilakukan dengan memanfaatkan beban bergerak atau lalu lintas kendaraan yang bermuatan berat untuk melintasi jembatan. Pengukuran getaran dapat menggunakan akselerometer atau aplikasi *iPhone* yang bernama *Vibration* yang ditempatkan pada ½ bentang.

Prinsip D'Alembert

Alternatif pendekatan untuk mendapatkan persamaan gerak adalah penggunaan prinsip D'Alembert yang menyatakan bahwa sebuah sistem dapat dibuat dalam keadaan keseimbangan dinamis dengan menambahkan sebuah gaya fiktif pada gaya-gaya luar yang disebut gaya inersia. (Paz, 1987)

Pada *Free Body Diagram* (FBD), terlihat penambahan gaya inersia sebagai gaya fiktif agar pencapaian sebuah sistem dalam keadaan keseimbangan dinamis. Hal tersebut sama seperti prinsip D'Alembert dimana terdapat penambahan gaya fiktif supaya sistem tetap dalam keseimbangan dinamis. Gaya inersia sendiri adalah gaya kelembaman dalam suatu sistem yang besarnya dipengaruhi oleh massa sistem itu sendiri serta juga dipengaruhi dengan akselerasi atau percepatan sistem itu sendiri. Jadi besar dari gaya inersia adalah hasil perkalian antara massa sistem dan percepatan sistem itu sendiri.

Penggunaan prinsip D'Alembert memungkinkan pemakaian persamaan keseimbangan untuk mendapatkan persamaan gerak.

$$\begin{aligned}\sum H &= 0 \\ fs + I &= 0 \\ ky + m\ddot{y} &= 0\end{aligned}$$

Dimana,

ky adalah konstanta pegas dengan k merupakan kekakuan sistem dan y merupakan simpangan sistem. $m\ddot{y}$ adalah gaya inersia dari sistem dengan m merupakan massa dari sistem dan \ddot{y} merupakan akselerasi dari sistem tersebut.

Untuk menemukan solusi dari persamaan gerak tersebut maka harus menggunakan pendekatan sistematis yang dimulai dengan mengklasifikasikan persamaan differensial tersebut. Karena variabel bebas y dan turunan keduanya \ddot{y} berderajat satu pada persamaan geraknya maka persamaan gerak tersebut diklasifikasikan linier orde dua. Dimana besar y dan \ddot{y} adalah konstan dan sisi kanan sama dengan nol maka klasifikasi selanjutnya persamaan gerak tersebut adalah homogeny dengan koefisien konstan. (Paz, 1987)

Untuk persamaan differensial orde kedua dapat diselesaikan dengan menggunakan persamaan:

$$y = A \cos \omega t \quad (2.5)$$

$$\dot{y} = -A\omega \sin \omega t \quad (2.6)$$

$$\ddot{y} = -A\omega^2 \cos \omega t$$

Sehingga jika persamaan di atas disubstitusikan pada persamaan gerak di atas maka besar frekuensi natural struktur dapat ditulis,

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Kekakuan

Kekakuan dapat diartikan sebagai satuan gaya yang dibutuhkan pada suatu sistem untuk menghasilkan satuan simpangan atau lendutan. Berdasarkan Hukum Hooke, rumus umum untuk kekakuan sebuah elemen adalah:

$$k = \frac{P}{y} \quad (2.3)$$

Dimana : P = beban yang terjadi (kg)

y = deformasi searah beban (m)

k = kekakuan elemen (kg/m)

Dengan adanya lendutan pada struktur dapat mengakibatkan adanya gelombang jika beban yang bekerja pada struktur tersebut bekerja secara bolak – balik. Selain menggunakan rumus hukum Hooke diatas, kekakuan struktur juga dapat dihitung melalui persamaan;

$$k = m. \omega^2$$

PEMBAHASAN

Uji Tarik Baja

Penelitian ini dimulai dengan pengujian kuat tarik baja profil baja untuk mengetahui mutu baja yang digunakan pada model jembatan rangka baja. Model jembatan rangka baja memiliki dimensi dengan panjang 6 meter, tinggi 0,6 meter, dan lebar 0,9 meter dengan menggunakan sambungan baut pada masing-masing buhulnya. Hasil pengujian tarik profil baja ini menghasilkan tegangan leleh (f_y) dan tegangan putus (f_u) secara berturut-turut sebesar 353,041 MPa dan 514,773 MPa sehingga dapat disimpulkan bahwa profil baja yang digunakan dalam model jembatan rangka baja ini merupakan profil baja dengan mutu BJ-50.

Frekuensi Natural Aktual

Pengujian frekuensi natural ini dilakukan dengan pukulan palu sebagai pusat getaran yang dihentakkan pada gelagar tengah model jembatan rangka baja. Selain itu, ada banyak variabel kondisi yang dilakukan pada penelitian ini yakni, pembacaan gelombang pada Puncak Pertama dan Puncak Tertinggi serta kondisi tanpa beban (TB) dan dengan beban (B). untuk kondisi dengan beban, beban yang dikenakan pada struktur adalah 2 keranjang beton dan 18 silinder beton. Karena penelitian ini dimulai dengan urutan pengencangan baut 2 kgfm – 1,2 kgfm – 0,2 kgfm – 1,2 kgfm – 2,0 kgfm maka pembacaan frekuensi natural ini dilakukan dengan urutan besar ke kecil dan kecil ke besar. Untuk pengencangan baut besar ke kecil dengan urutan pengencangan baut 2,0 kgfm – 1,2 kgfm – 0,2 kgfm sedangkan untuk pengencangan baut kecil ke besar dengan urutan pengencangan baut 0,2 kgfm – 1,2 kgfm – 2,0 kgfm. Karena pada percobaan pengencangan 0,2 kgfm dilakukan hanya satu kali maka data frekuensi natural pada keadaan pengencangan 0,2 kgfm masuk pada data pengencangan besar ke kecil dan kecil ke besar.



Gambar 1 Model Jembatan Rangka Baja



Gambar 2 Kondisi dengan Beban (B) pada Model Jembatan Rangka Baja

Pengujian frekuensi natural ini dimulai dengan urutan pengencangan besar ke kecil. Pengambilan data dimulai dengan kondisi tanpa beban terlebih dahulu kemudian kondisi dengan beban.

Tabel 1 Hasil Frekuensi Natural pada Pengencangan Baut Besar ke Kecil Kondisi tanpa Beban (TB)

Kuat Kencang Baut (kgfm)	Kondisi tanpa Beban (TB) (rad/det)	
	Puncak Pertama (PP)	Puncak Tertinggi (PT)
0.2	137.489	195.797
1.2	190.952	233.320
2.0	191.731	234.884

Tabel 2 Hasil Frekuensi Natural pada Pengencangan Baut Besar ke Kecil Kondisi dengan Beban (B)

Kuat Kencang Baut (kgfm)	Kondisi dengan Beban (B) (rad/det)	
	Puncak Pertama (PP)	Puncak Tertinggi (PT)
0.2	152.9264472	171.6566226
1.2	180.2268874	221.8341405
2.0	194.898125	220.564937

Hasil pengujian frekuensi natural pada pengencangan sambungan baut dari besar ke kecil didapat semakin besar kuat kencang baut semakin besar juga frekuensi natural yang dihasilkan pada model jembatan rangka baja tersebut untuk kondisi TB,PP; TB,PT; dan B,PP. Berbeda halnya pada kondisi B,PT pada pengencangan baut 1,2 kgf ke 2,0 kgfm mengalami

penurunan frekuensi natural tetapi penurunan yang dihasilkan pada kuat kencang ini turun secara marginal artinya tidak terlihat mengalami perubahan (secara grafik terlihat datar). Sama halnya dengan kekakuan, karena kekakuan berbanding lurus dengan frekuensi natural kuadrat maka kesimpulan dari pengencangan sambungan baut dari besar ke kecil dari kekakuan struktur sama dengan kesimpulan pada frekuensi natural kondisi pengencangan baut besar ke kecil.

Selanjutnya, pengujian frekuensi natural ini dilanjutkan dengan urutan pengencangan kecil ke besar. Pengambilan data dimulai dengan kondisi tanpa beban terlebih dahulu kemudian kondisi dengan beban.

Tabel 3 Hasil Frekuensi Natural pada Pengencangan Baut Kecil ke Besar Kondisi tanpa Beban (TB)

Kuat Kencang Baut (kgfm)	Kondisi tanpa Beban (TB) (rad/det)	
	Puncak Pertama (PP)	Puncak Tertinggi (PT)
0.2	137.489	195.797
1.2	139.954	236.332
2.0	139.267	236.468

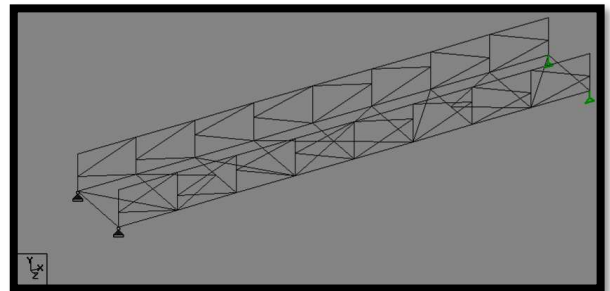
Tabel 4 Hasil Frekuensi Natural pada Pengencangan Baut Kecil ke Besar Kondisi dengan Beban (B)

Kuat Kencang Baut (kgfm)	Kondisi dengan Beban (B) (rad/det)	
	Puncak Pertama (PP)	Puncak Tertinggi (PT)
0.2	152.926	171.657
1.2	180.089	223.851
2.0	183.758	223.964

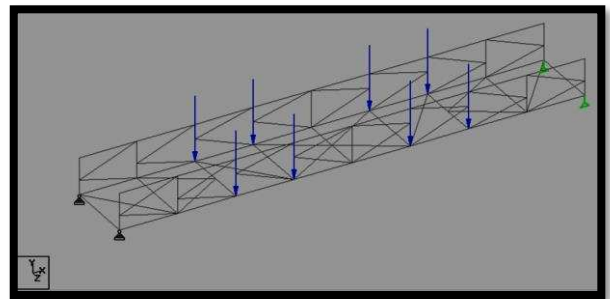
Hasil pengujian frekuensi natural pada pengencangan sambungan baut dari besar ke kecil didapat semakin besar kuat kencang baut semakin besar juga frekuensi natural yang dihasilkan pada model jembatan rangka baja tersebut untuk kondisi TB,PP; TB,PT; B,PP; dan B,PT semakin besar kuat kencang baut semakin meingkat juga besar frekuensi natural yang dihasilkan model jembatan rangka baja. Terlihat hasil frekuensi dari kuat kencang 0,2 kgfm ke 1,2 kgfm peningkatan frekuensi natural meningkat secara signifikan sedangkan pada kuat kencang 1,2 kgfm ke 2,0 kgfm peningkatan frekuensi natural meningkat secara marginal. Sama halnya dengan kekakuan, karena kekakuan berbanding lurus dengan frekuensi natural kuadrat maka kesimpulan dari kekakuan struktur dengan pengencangan baut kecil ke besar sama dengan kesimpulan pada frekuensi natural pengencangan baut kecil ke besar juga.

Frekuensi Natural Teoritis

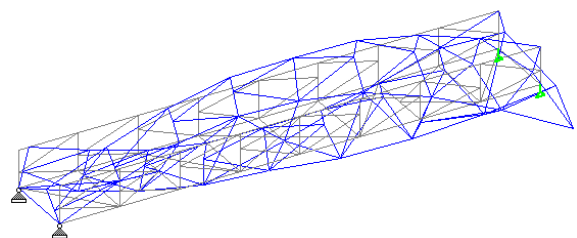
Untuk perbandingan frekuensi natural teoritis dengan frekuensi natural aktual yang terjadi pada model jembatan rangka baja tersebut, perlu dilakukan analisis teoritis dengan menggunakan *software* StaadPro v8i. Pada penelitian ini, pemodelan di StaadPro v8i berdasarkan yang diteliti pada kondisi aslinya yakni dengan kondisi tanpa beban dan kondisi dengan beban. Kondisi dengan beban yang diinputkan pada *software* StaadPro v8i masing-masing sebesar 37,5 kg yang terletak pada 4 joint sisi kiri (dekat tumpuan sendi) jembatan dan 4 joint pada sisi kanan (dekat tumpuan rol) jembatan.



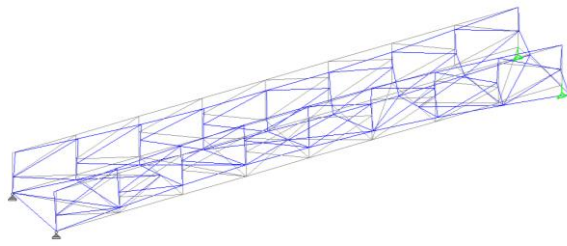
Gambar 3 Pemodelan Model Jembatan dengan StaadPro.v8i Kondisi tanpa Beban



Gambar 4 Model Jembatan Kondisi dengan Beban (37,5 kg)



Gambar 5 Mode Frekuensi tanpa Beban Analisis StaadPro v8i



Gambar 6 Mode Frekuensi dengan Beban Analisis StaadPro v8i

Tabel 5 Hasil Frekuensi Teoritis Kondisi tanpa Beban

Mode Shape	Frekuensi (Hz)	Frekuensi Natural (rad/det)
1	31.927	200.6032573
2	33.345	209.5128141
3	91.343	573.9249955
4	91.372	574.1072079

Tabel 6 Hasil Frekuensi Teoritis Kondisi dengan Beban

Mode Shape	Frekuensi (Hz)	Frekuensi Natural (rad/det)
1	17.031	107.008929
2	17.772	111.6647693
3	46.569	292.6016566
4	46.586	292.7084707

Perbandingan Frekuensi Natural Aktual dan Teoritis

Adapun perbandingan antara frekuensi natural teoritis dan aktual model jembatan rangka baja dimana pada frekuensi natural aktual diambil frekuensi natural pada keadaan kuat kencang 2 kgfm. Hal ini dikarenakan pada analisis *software* StaadPro v8i tidak mampu didesain kuat kencang sambungan yang digunakan sehingga kami mengambil data frekuensi natural pada keadaan kuat kencang baut yang tertinggi. Untuk hasil frekuensi pada analisis *software* StaadPro v8i digunakan frekuensi pada *mode shape* 1 dan 2 saja. Sedangkan untuk hasil frekuensi natural aktual diambil besar frekuensi natural pada kuat kencang baut 2 kgfm pada dua kondisi yakni, pengencangan 0,2 kgfm – 1,2 kgfm – 2,0 kgfm dan pengencangan 2,0 kgfm – 1,2 kgfm – 0,2 kgfm.

Tabel 7 Perbandingan Frekuensi Natural Teoritis dan Aktual Kondisi tanpa Beban

No	Frekuensi Teoritis (Hz)	Frekuensi Natural Teoritis (rad/det)	Frekuensi Natural Aktual (rad/det)
1	31.927	200.6032573	236.467679
2	33.345	209.5128141	234.8843163
Rata-Rata		205.0580357	235.6759977

Tabel 8 Perbandingan Frekuensi Natural Teoritis dan Aktual Kondisi dengan Beban

No	Frekuensi Teoritis (Hz)	Frekuensi Natural Teoritis (rad/det)	Frekuensi Natural Aktual (rad/det)
1	17.031	107.008929	223.9641403
2	17.772	111.6647693	220.564937
Rata-Rata		109.3368491	222.2645386

Pada hasil penelitian frekuensi natural model jembatan rangka baja yang kami amati terjadi perbedaan yang signifikan dimana hasil frekuensi natural teoritis dan aktual pada kondisi tanpa beban (TB) maupun dengan beban (B). Hal ini disebabkan pada kondisi riil model jembatan yang kami teliti dalam kondisi plastis artinya ketika model jembatan rangka baja dibebani, model jembatan rangka baja ini tidak kembali ke posisi semula. Selain itu, pada aplikasi *software* StaadPro v8i tidak bisa direncanakan kuat kencang sambungan baut, jenis baut, mutu baut dan jumlah baut yang digunakan. Sambungan pada analisis *software* StaadPro v8i merupakan sambungan yang kaku (*rigid*) tanpa diketahui berapa besar kuat kencangnya.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan pada penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa,

1. Pada saat pengujian frekuensi natural dengan urutan pengencangan dari yang Besar ke Kecil (2,0 kgfm – 1,2 kgfm – 0,2 kgfm) dan pengencangan dari Kecil ke Besar, didapatkan beberapa kesimpulan yakni pada hasil frekuensi natural pada kedua kondisi diatas dapat dikatakan bahwa pada pengencangan 0,2 kgfm ke 1,2 kgfm frekuensi natural meningkat secara signifikan sedangkan pada pengencangan 1,2 kgfm ke 2,0 kgfm frekuensi natural meningkat secara marginal (tidak secara signifikan). Dilihat dari tren pada kedua kondisi grafik secara keseluruhan, semakin besar kuat kencang baut frekuensi natural juga semakin meningkat.
2. Ada pengaruh antara kuat kencang baut pada sambungan model jembatan rangka baja terhadap frekuensi natural yang dihasilkan oleh model jembatan rangka baja. Hal ini disebabkan oleh semakin besar kuat kencang baut semakin besar juga kekakuan struktur sehingga frekuensi juga akan semakin besar. Tetapi pada suatu keadaan tertentu terdapat suatu keadaan dimana semakin besar kuat kencang baut semakin kecil frekuensi natural yang terjadi serta semakin adanya penambahan beban, frekuensi natural yang dihasilkan semakin kecil. Kedua hal tersebut dikarenakan pada sambungan baut terjadi perubahan perilaku dimana tahanan geser tumpu berubah menjadi tahanan friksi ketika pada saat penambahan beban sehingga dapat menambah kekakuan dari model jembatan rangka baja itu sendiri.

Saran

1. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besar frekuensi natural aktual dari model jembatan rangka baja secara baik, sehingga perlu penambahan *device Iphone* agar pengambilan data dapat dipercaya validitas dan realibilitasnya.
2. Perlu alat pembanding seperti Akselerometer dan program FFT (*Fast Fourier Transform*) supaya data frekuensi natural dapat dihasilkan secara baik.
3. Untuk penelitian frekuensi natural dengan menggunakan model selanjutnya, harus diperiksa lebih detail lagi pada sambungan bautnya apakah baut pada sambungan tersebut mengalami kerusakan atau tidak serta dilakukan pengecekan dan pergantian profil rangka baja terlebih dahulu jika ada profil baja yang mengalami kerusakan dan berkarat.
4. Pada analisi teoritis, perlu pembanding analisis software seperti program SAP2000 supaya frekuensi yang dihasilkan dapat diuji validitasnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Paz, Mario. (1987). *Dinamika Struktur Teori dan Perhitungan*. Bandung: Erlangga
- Supriyadi, Bambang. (2007). *Jembatan*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Budio, Sugeng P. (2011). *Buku Ajar Dinamika*. Malang: Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
- Setiawan, Agus. (2008). *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD*. Jakarta: Erlangga
- Oentoeng. (1999). *Konstruksi Baja*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga. (2009). *Pemeriksaan Jembatan Rangka Baja*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). *Spesifikasi Bantalan Elastomer Tipe Polos dan Tipe Berlapis untuk Perletakan Jembatan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2015). *Pedoman Pemasangan Baut Jembatan*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Badan Standardisasi Nasional. (1991). *Metode Pengujian Kuat Tarik Baja Beton*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2009). *Jembatan*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Ardhi, Sarjono Anwar & Utomo, Tri Cahyo. (2012). Analisis Kemampuan Layan Jembatan Rangka Baja Soekarno-Hatta Malang ditinjau dari Aspek Getaran, Lendutan, dan Usia Fatik. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Xu, Weiwei. (2013). Effect of Bolted Joint Preload on Structural Damping. *Thesis*. Unpublished. United States: University of South Florida.
- Setiawan, Wira. (2014). Makalah dalam *Cara Kerja Akselerometer*. Jakarta, 6 April 2014.
- Anonim. (2015). *Pengertian dan Fungsi Kunci Torsi*. Jakarta: PT. Glodok Teknik Indonesia. <http://dunia-ilmu-teknik.blogspot.co.id/2015/11/kunci-momen-pengertian-fungsi-kunci.html>. (diakses 22 Juli 2016)
- Anonim. (2011). *Elastomer Bearing Pad*. Bogor: PT. Kakada Pratama. <http://www.kakadapratama.co.id/detail-11>. (diakses 17 Juli 2016)
- Brahmantyo, Dody. (2012). *Sambungan Baut Konstruksi Baja*. Surabaya: Universitas Narotama. [http://dodybrahmantyo.dosen.narotama.ac.id/files/2012/05/KONSTRUKSI-BAJA-3 SAMBUNGAN-BAUT.pdf](http://dodybrahmantyo.dosen.narotama.ac.id/files/2012/05/KONSTRUKSI-BAJA-3%20SAMBUNGAN-BAUT.pdf). (diakses 2 Agustus 2016)
- Wahyu, D. (2012). *Apa itu Vibration / Vibrasi / Getaran?*. <https://analisavibrasi.wordpress.com/>. (diakses 17 Juli 2016)
- Chan, Yefri. (2010). *Getaran Mekanik*. Jakarta: Universitas Darma Persada. <https://yefrichan.files.wordpress.com/2010/05/diktat-getaran-mekanik1.pdf>. (diakses 17 Juli 2016)
- Wibowo, Ari dkk. (2012). Pengaruh Posisi Beban terhadap Tegangan dan Rotasi Batang Tepi Bawah Jembatan “Boomerang Bridge”. *Jurnal Rekayasa Sipil, Vol. 8, no. 2, pp. 142-145*. Malang: Universitas Brawijaya
- P Budio, Sugeng dkk. (2012). Prosentase Penurunan Lendutan Model Jembatan Rangka Baja Akibat Penggunaan Kabel Prategang Internal Tipe Segitiga. *Jurnal Rekayasa Sipil, Vol. 3, no. 1, pp. 37-49*. Malang: Universitas Brawijaya