



Studi Pengaruh Variasi Jumlah Panel pada Jembatan Rangka Baja Terhadap Frekuensi Alami dan Bentuk Mode

Muhammad Zaki Chairuman^{1*}

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Pembangunan Panca Budi, Indonesia

*Email corresponding author: zakichairuman@dosen.pancabudi.ac.id

ABSTRAK

Variasi jumlah panel pada jembatan rangka baja memberikan pengaruh yang signifikan terhadap karakteristik dinamisnya, khususnya frekuensi alami dan bentuk modus getar (*mode shape*). Studi penelitian ini mengkaji bagaimana variasi jumlah panel mempengaruhi frekuensi alami dan bentuk modus pada jembatan rangka baja. Metode penelitian ini menggunakan Sistem Damped DOF dan ABAQUS untuk mengkaji tiga konfigurasi panel yang berbeda yaitu 8, 10, dan 12 panel. Hasil menunjukkan bahwa jembatan dengan jumlah panel yang lebih sedikit memiliki frekuensi alami yang lebih rendah, sementara jembatan dengan jumlah panel yang lebih banyak memiliki frekuensi yang lebih tinggi akibat peningkatan kekakuan. Selain itu, analisis bentuk mode menunjukkan bahwa jembatan dengan jumlah panel yang lebih sedikit mengalami deformasi yang lebih besar, yang berpotensi mempengaruhi kinerja dinamisnya. Penelitian ini menekankan pentingnya mengoptimalkan jumlah panel dalam desain jembatan untuk meningkatkan kekakuan dan ketahanan terhadap gaya dinamis. Penelitian masa depan dapat mengeksplorasi pengaruh parameter struktural lain terhadap frekuensi alami dan bentuk mode.

SEJARAH ARTIKEL

Diterbitkan 09
Desember 2025

KATA KUNCI

Bentuk Mode;
Frekuensi Alami;
Variasi Panel;
Jembatan Rangka
Baja.

1. Pendahuluan

Jembatan merupakan salah satu infrastruktur penting yang berfungsi menghubungkan daerah yang terpisah oleh sungai, laut, atau rintangan lainnya. Namun, jembatan sering menghadapi ancaman gempa bumi, baik vertikal maupun horizontal, yang dapat mengakibatkan kerusakan struktural (M. Z. Chairuman, 2024).

Berdasarkan data BMS tahun 2016, terdapat 18.308 jembatan dengan panjang lebih atau sama dengan 6 meter di jalan nasional, yang menghasilkan total panjang 496.080 meter jembatan. Sekitar 11,39% (2.086 unit) stok jembatan nasional merupakan jembatan rangka baja. Sehingga jembatan-jembatan tersebut perlu penanganan dan pemeliharaan dalam mendukung pelayanan moda transportasi jalan raya (Baja, n.d.).

Variasi jumlah panel pada jembatan rangka baja memberikan pengaruh yang signifikan terhadap karakteristik dinamisnya, khususnya frekuensi alami dan bentuk modus getar (*mode shape*) (Karimi, Akbari, & Maalek, 2022; Sutrisno, Chandra, &

Deonanda, 2021). Frekuensi alami adalah salah satu parameter penting yang memengaruhi proses konstruksi. Frekuensi alami adalah frekuensi di mana struktur bergetar secara alami dan merupakan persyaratan penting dalam menganalisis kelayakan jembatan (Z. Chairuman, Tarigan, & Nursyamsi, 2024). Bentuk modus (*mode shape*) atau pola getar struktur juga berubah seiring variasi jumlah panel. Bentuk modus menggambarkan cara struktur berdeformasi saat bergetar pada frekuensi alaminya masing-masing (modus pertama, kedua, dan seterusnya) (Prawestri, Sutrisno, & Priyanto, 2021).

Dalam studi sebelumnya, Malekjafarian mengubah bentang Jembatan Malahide untuk meningkatkan kekakuannya (Malekjafarian et al., 2022). Hasilnya, nilai frekuensi alami meningkat, yang menunjukkan bahwa semakin kaku struktur jembatan, semakin tinggi pula frekuensi alaminya. Selain faktor-faktor tersebut, pada jembatan rangka, kekakuan juga dipengaruhi oleh jumlah panel yang digunakan. Oleh karena itu, jumlah panel akan memengaruhi nilai frekuensi alami jembatan (Kirsanov, 2020; Tran, Douthe, Sab, Dallot, & Davaine, 2014).

Berdasarkan teori tersebut, tujuan penelitian ini adalah meninjau kembali bagaimana variasi jumlah panel memengaruhi frekuensi alami dan bentuk modus jembatan agar dapat menentukan jumlah panel yang optimal dalam desain jembatan sehingga mampu menahan gaya dinamis secara proporsional.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif, yaitu pendekatan ilmiah yang berfokus pada sistematisasi fenomena dan hubungan antarvariabel melalui model matematika, teori, atau hipotesis yang terukur.

Sampel penelitian ini adalah jembatan rangka baja dengan tipe jembatan Warren. Jumlah sampel penelitian terdiri dari tiga sampel penelitian dengan panjang jembatan yang sama dan dimensi profil yang sama, tetapi dengan jumlah panel yang berbeda. Sampel pertama adalah jembatan dengan 10 panel, sampel kedua adalah jembatan dengan 8 panel, dan sampel ketiga adalah jembatan dengan 12 panel. Penelitian ini melalui beberapa tahap pengolahan data, dimulai dengan menganalisis matriks kekakuan, matriks massa, dan frekuensi alami pada jembatan dengan 10 panel, 8 panel, dan 12 panel menggunakan dua metode, yaitu Sistem Damped-DOF dan perangkat lunak ABAQUS.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Frekuensi Alami Jembatan

Hasil frekuensi alami menggunakan sistem DOF dan menggunakan ABAQUS pada jembatan rangka baja dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1. Hasil Variasi Jumlah Panel terhadap Frekuensi Alami

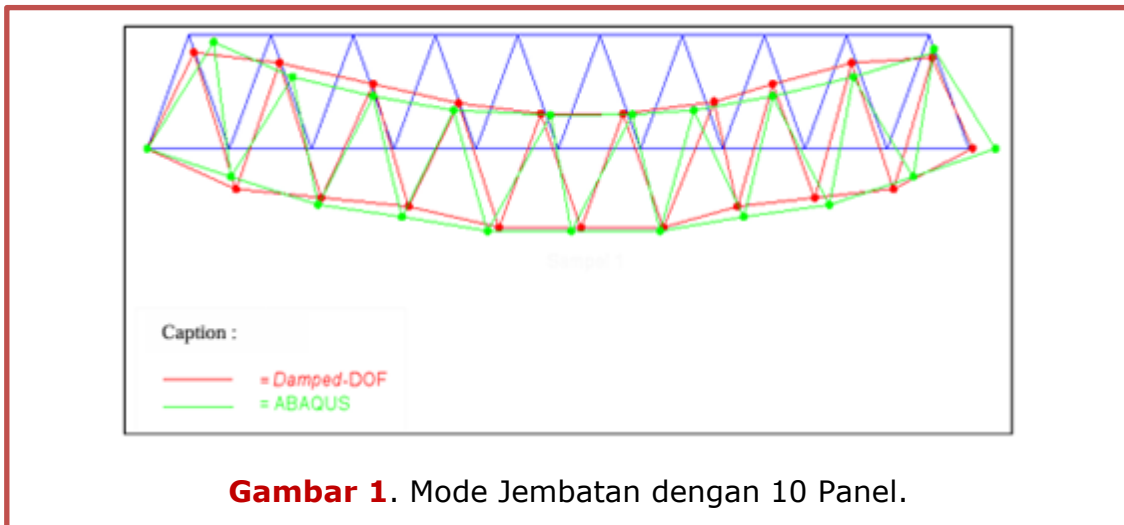
No.	Jumlah Panel	Metode Damped-DOF System	Metode ABAQUS
1.	10 Panel	23,727 rad/detik	23,649 rad/detik
2.	8 Panel	21,067 rad/detik	20,979 rad/detik
3.	12 Panel	25,687 rad/detik	25,498 rad/detik

Sumber: Data diolah, 2025

Secara umum, semakin banyak jumlah panel pada jembatan rangka baja, semakin tinggi frekuensi alami yang dihasilkan, karena secara struktural penambahan panel dapat meningkatkan kekakuan model. Pada tabel di atas, metode damped-DOF system menunjukkan frekuensi alami lebih tinggi dibanding dengan metode ABAQUS. Hasil terbaik yang menunjukkan sistem stabil secara dinamis dari kedua metode tersebut adalah pada konfigurasi 12 panel yaitu damped-DOF 25,687rad/detik atau ABAQUS 25,498 rad/detik.

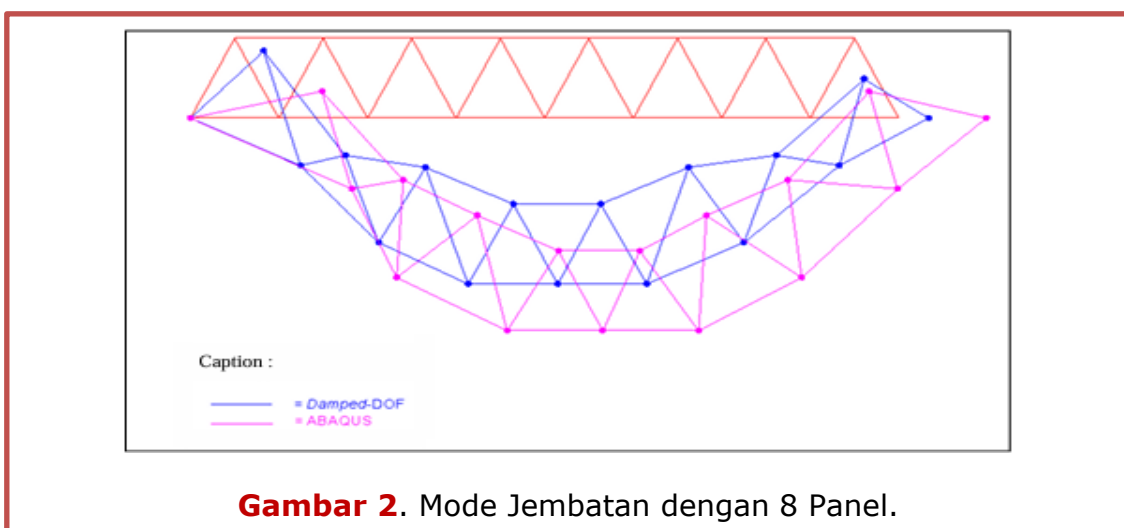
3.2 Bentuk Mode Jembatan

Bentuk Modus atau Mode Jembatan komponen penting dari frekuensi alami, yang juga digunakan untuk menganalisis besarnya frekuensi alami. Bentuk mode jembatan dengan 10 panel yang menggunakan Sistem Damped-DOF dan ABAQUS dapat dilihat pada Gambar 1.



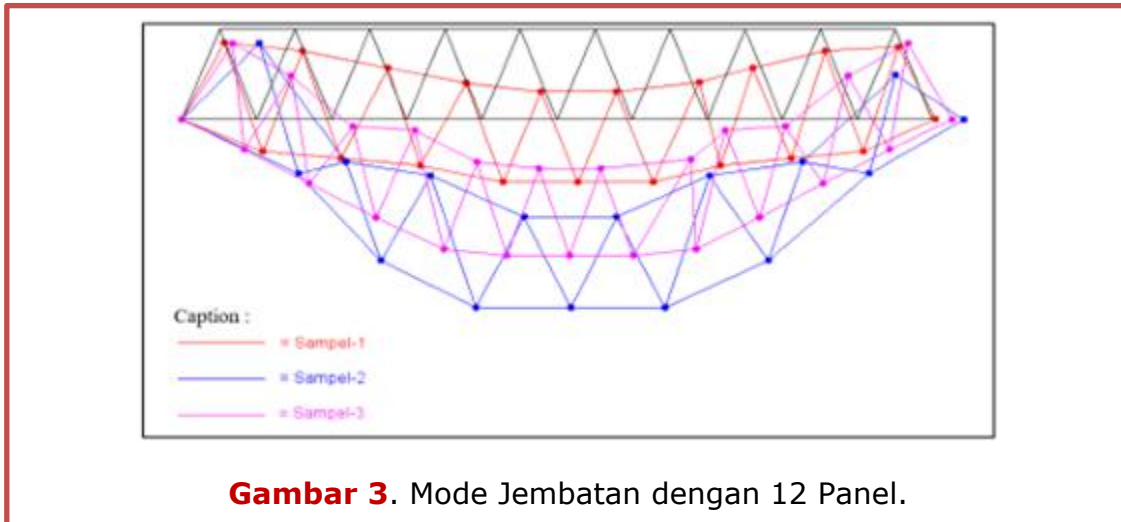
Gambar 1. Mode Jembatan dengan 10 Panel.

Bentuk mode jembatan dengan 8 panel yang dihasilkan menggunakan Sistem Damped-DOF dan ABAQUS dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Mode Jembatan dengan 8 Panel.

Bentuk mode yang dihasilkan oleh jembatan dengan 12 panel menggunakan Sistem Damped-DOF dan ABAQUS dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Mode Jembatan dengan 12 Panel.

3.3 Variasi Panel Terhadap Frekuensi Jembatan

Penelitian menunjukkan bahwa frekuensi alami sistem dengan kurang dari 10 panel lebih kecil, sedangkan frekuensi alami sistem dengan lebih dari 10 panel lebih besar. Dari perbandingan ini, dapat dilihat bahwa semakin sedikit jumlah panel, semakin kecil frekuensi alamiahnya, sedangkan semakin banyak jumlah panel, semakin besar frekuensi alamiahnya. Perbandingan ini dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Variasi Panel Terhadap Frekuensi Alami berdasarkan Metode Sistem DOF

	8 Panel	10 Panel	12 Panel
8 Panel		-0.1263	-0.2193
10 Panel	0.1121		-0.0826
12 Panel	0.1799	0.076	

Sumber: Data diolah, 2025

Tabel 3. Variabel Panel Terhadap Frekuensi Alami berdasarkan Metode ABAQUS

	8 Panel	10 Panel	12 Panel
8 Panel		-0.1274	-0.2156
10 Panel	0.1130		-0.0782
12 Panel	0.1774	0.0725	

Sumber: Data diolah, 2025

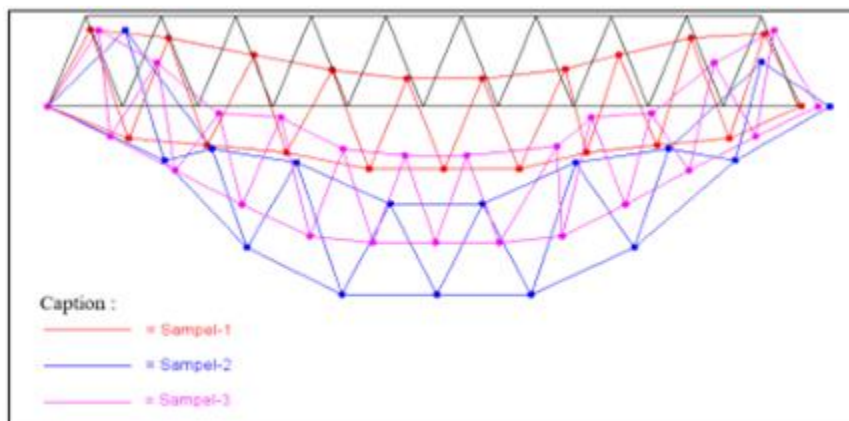
Dari kesalahan persentase, dapat dilihat bahwa ketika jumlah panel dikurangi, nilai frekuensi alami juga akan berkurang. Sebaliknya, ketika jumlah panel ditingkatkan, nilai frekuensi alami juga akan meningkat kekakuan memiliki pengaruh terhadap nilai frekuensi alami (Chen, Beskhyroun, & Omenzetter, 2016; Grigorjeva & Kamaitis, 2015). Semakin tinggi kekakuan jembatan, semakin tinggi nilai frekuensi alami, dan semakin rendah kekakuan jembatan, semakin rendah nilai frekuensi alami. Jembatan dengan 8 panel memiliki kekakuan yang lebih rendah daripada jembatan dengan 10 panel dan 12 panel (Ju & Lin, 2003; Siekierski, 2016).

Hal ini disebabkan karena rangka yang digunakan lebih sedikit dan lebih panjang dibandingkan dengan jembatan berpanel 10 dan 12. Oleh karena itu, jembatan berpanel

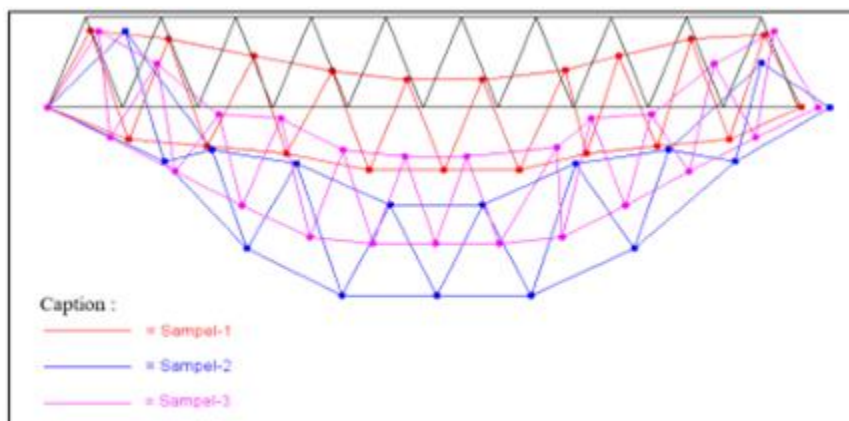
8 memiliki nilai frekuensi alami yang lebih rendah dibandingkan dengan jembatan berpanel 10 dan 12. Jembatan berpanel 12 memiliki kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan dengan jembatan berpanel 8 dan 10 panel, karena rangka yang digunakan lebih banyak dan lebih pendek. Oleh karena itu, dibandingkan dengan jembatan dengan 8 dan 10 panel, jembatan dengan 12 panel memiliki nilai frekuensi alami yang lebih besar.

3.4 Variasi Panel Terhadap Frekuensi Jembatan

Dari hasil analisis, perbandingan bentuk mode berdasarkan jumlah panel yang digunakan diperoleh menggunakan Sistem Damped-DOF dan ABAQUS. Perbandingan ini dapat dilihat pada Gambar 4 dan 5.



Gambar 4. Variasi Panel Terhadap Bentuk Mode berdasarkan Metode Damped-DOF System.



Gambar 5. Variasi Panel Terhadap Bentuk Mode berdasarkan Metode ABAQUS.

Berdasarkan Gambar 4, terlihat bahwa perbedaan paling mencolok pada bentuk mode terdapat pada jembatan dengan 8 panel. Bentuk mode jembatan dengan 8 panel tampak jauh lebih besar dibandingkan dengan jembatan yang memiliki 10 dan 12 panel. Sementara itu, jembatan dengan 12 panel memiliki bentuk mode yang lebih besar daripada jembatan dengan 10 panel tetapi lebih kecil daripada bentuk mode jembatan dengan 8 panel. Gambar 5 mencapai kesimpulan yang sama dengan Gambar 4, di mana

jembatan dengan 12 panel memiliki bentuk mode yang lebih besar daripada jembatan dengan 10 panel tetapi lebih kecil daripada jembatan dengan 8 panel.

4. Kesimpulan

Studi ini menemukan bahwa jumlah panel pada jembatan rangka memiliki pengaruh yang signifikan terhadap frekuensi alami dan bentuk mode jembatan. Jembatan dengan jumlah panel yang lebih sedikit, seperti tipe 8 panel, memiliki frekuensi alami yang lebih rendah, sedangkan desain 12 panel memiliki frekuensi yang lebih tinggi. Perbedaan ini disebabkan oleh kekakuan tambahan yang dihasilkan oleh penambahan panel, yang berkorelasi langsung dengan frekuensi alami yang lebih tinggi.

Oleh karena itu, dalam merancang jembatan rangka, pertimbangan yang cermat harus diberikan pada jumlah panel untuk mengoptimalkan kekakuan dan frekuensi alami, memastikan kemampuan struktur untuk menahan gaya dinamis. Untuk penelitian selanjutnya agar dapat mengeksplorasi faktor desain lain seperti variasi material atau pengaruh gaya eksternal untuk lebih meningkatkan kinerja jembatan.

5. Ucapan Terima Kasih

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang terlibat selama proses penelitian berlangsung. Terima kasih kepada lembaga Universitas Pembangunan Panca Budi yang telah menyediakan fasilitas dan kesempatan sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan sebaik-baiknya.

Daftar Pustaka

- Baja, P. J. R. (n.d.). *Sistem Lantai Panel Segmental Ortotropik Baja*.
- Chairuman, M. Z. (2024). *Kajian Frekuensi Alami dan Bentuk Modus terhadap Aplikasi Gempa Vertikal dan Gempa Horizontal dengan Jumlah Panel yang Variatif*. Universitas Sumatera Utara.
- Chairuman, Z., Tarigan, J., & Nursyamsi, N. (2024). Study on the Effect of Variation in Number of Panels on Natural Frequency. *International Journal of Architecture and Urbanism*, 8(3), 439–447.
- Chen, G.-W., Beskhyroun, S., & Omenzetter, P. (2016). Experimental investigation into amplitude-dependent modal properties of an eleven-span motorway bridge. *Engineering Structures*, 107, 80–100.
- Grigorjeva, T., & Kamaitis, Z. (2015). Numerical analysis of the effects of the bending stiffness of the cable and the mass of structural members on free vibrations of suspension bridges. *Journal of Civil Engineering and Management*, 21(7), 948–957.
- Ju, S.-H., & Lin, H.-T. (2003). Resonance characteristics of high-speed trains passing simply supported bridges. *Journal of Sound and Vibration*, 267(5), 1127–1141.
- Karimi, F., Akbari, R., & Maalek, S. (2022). A Simple Conceptual Model for Estimating the First Bending Natural Frequency of Bridge Superstructures. *Shock and Vibration*, 2022(1), 1202384.
- Kirsanov, M. N. (2020). Analytical dependence of the deflection of the spatial truss on the number of panels. *Magazine of Civil Engineering*, (4 (96)), 110–117.
- Malekjafarian, A., Khan, M. A., OBrien, E. J., Micu, E. A., Bowe, C., & Ghiasi, R. (2022). Indirect monitoring of frequencies of a multiple span bridge using data collected

from an instrumented train: a field case study. *Sensors*, 22(19), 7468.

- Prawestri, D., Sutrisno, W., & Priyanto, A. (2021). Perbandingan Analisis Frekuensi Alami Jembatan Gantung Dengan Menggunakan Aplikasi Accelerometer Meter Dan Software (Studi Kasus Jembatan Gantung Kemiri Buluharjo Karangmojo). *RENOVASI: Rekayasa Dan Inovasi Teknik Sipil*, 6(1), 54–64.
- Siekierski, W. (2016). An analytical method to estimate the natural bending frequency of the spans of railway through truss bridges with steel-and-concrete composite decks. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 230(8), 1908–1918.
- Sutrisno, W., Chandra, D. L., & Deonanda, A. (2021). Perbandingan Frekuensi Alami Jembatan Karangsemut Menggunakan Accelerometer Dan Sap2000. *RENOVASI: Rekayasa Dan Inovasi Teknik Sipil*, 6(2).
- Tran, K. L., Douthe, C., Sab, K., Dallot, J., & Davaine, L. (2014). Buckling of stiffened curved panels under uniform axial compression. *Journal of Constructional Steel Research*, 103, 140–147.