



Evaluasi Kapasitas dan Stabilitas Jembatan Baja Menggunakan Metode Elemen Hingga

Rina Kurniawati ^{a,1,*}, Muhammad Fajar Hidayat ^{a,2}

^a Program Studi, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

¹ rinakurniawati@gmail.com*; ² muhammadfajar@gmail.com

* Corresponding Author

ABSTRACT

Steel bridges play a critical role in supporting transportation systems, enabling efficient mobility and goods distribution. Increasing traffic loads and structural aging require comprehensive evaluation of bridge capacity and stability to ensure safety, reliability, and long-term performance. This study aims to analyze the capacity and stability of a steel bridge using the Finite Element Method (FEM) as a numerical approach capable of representing structural behavior with high accuracy and detail. FEM is applied to simulate structural responses under various loading conditions, including dead loads, live loads, wind loads, and environmental effects. A three-dimensional bridge model is developed using FEM-based structural analysis software. Key parameters analyzed include stress distribution, deflection, deformation, safety factor, and structural stability under applied loads. Technical data are obtained from design specifications and relevant construction standards. The results show that FEM provides detailed insight into structural performance, including identification of stress concentration zones with potential failure risk. The bridge structure remains within safe design limits; however, certain elements exhibit increased stress due to cumulative loading and long-term operation. Stability analysis confirms adequate safety against buckling and excessive deformation. FEM effectively identifies critical areas requiring maintenance or strengthening to extend service life.

Article History

Received 2026-04-08

Revised 2026-04-29

Accepted 2026-05-09

Published 2026-06-24

Keywords

Jembatan Baja;
Kapasitas Struktur;
Stabilitas Struktur;
Metode Elemen
Hingga;
Finite Element Method

Copyright © 2026, The Author(s)

This is an open-access article under the CC-BY-SA license



PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur transportasi merupakan salah satu faktor penting dalam mendukung pertumbuhan ekonomi dan peningkatan konektivitas antarwilayah. Salah satu infrastruktur yang memiliki peran strategis dalam sistem transportasi adalah jembatan. Jembatan berfungsi sebagai penghubung antarwilayah yang dipisahkan oleh sungai, lembah, maupun hambatan geografis lainnya sehingga mampu memperlancar mobilitas manusia dan distribusi barang. Dalam konteks pembangunan nasional, keberadaan jembatan yang aman dan andal menjadi bagian penting dalam mendukung kelancaran aktivitas ekonomi dan sosial masyarakat (Kementerian PUPR, 2023).

Jembatan baja merupakan salah satu jenis jembatan yang banyak digunakan karena memiliki berbagai keunggulan, seperti kekuatan yang tinggi, bobot struktur yang relatif ringan, kemudahan dalam proses fabrikasi, serta kemampuan untuk menjangkau bentang yang panjang. Selain itu, penggunaan material baja memungkinkan proses konstruksi berlangsung lebih cepat dibandingkan dengan jenis material lainnya. Oleh karena itu, jembatan baja banyak diaplikasikan pada proyek infrastruktur strategis yang membutuhkan efisiensi waktu dan kapasitas struktur yang besar (Setiawan & Nugroho, 2021).

Meskipun memiliki berbagai keunggulan, jembatan baja juga menghadapi berbagai tantangan selama masa layanannya. Beban lalu lintas yang terus meningkat, perubahan kondisi lingkungan, korosi, kelelahan material (fatigue), serta pengaruh bencana alam dapat

menyebabkan penurunan kinerja struktur. Apabila tidak dilakukan evaluasi secara berkala, kondisi tersebut berpotensi menimbulkan kerusakan yang dapat mengurangi tingkat keamanan dan kenyamanan pengguna jembatan (Sari et al., 2022). Oleh karena itu, diperlukan sistem evaluasi yang mampu mengidentifikasi kondisi struktur secara akurat sehingga tindakan pemeliharaan dan rehabilitasi dapat dilakukan secara tepat.

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan keselamatan infrastruktur, evaluasi kapasitas dan stabilitas struktur jembatan menjadi aspek yang sangat penting dalam manajemen aset infrastruktur. Kapasitas struktur berkaitan dengan kemampuan jembatan dalam menahan beban yang bekerja tanpa mengalami kegagalan, sedangkan stabilitas struktur berhubungan dengan kemampuan struktur untuk mempertahankan keseimbangan dan bentuknya selama menerima beban eksternal. Kedua aspek tersebut menjadi indikator utama dalam menentukan tingkat keamanan dan kelayakan operasional suatu jembatan (Pratama & Widodo, 2020).

Perkembangan teknologi komputasi telah memberikan kontribusi besar dalam bidang analisis struktur, khususnya melalui penerapan metode numerik. Salah satu metode yang paling banyak digunakan dalam rekayasa struktur adalah Metode Elemen Hingga (Finite Element Method/FEM). Metode ini memungkinkan insinyur untuk memodelkan perilaku struktur secara detail dengan membagi struktur menjadi elemen-elemen kecil yang saling terhubung sehingga respons struktur terhadap berbagai kondisi pembebanan dapat dianalisis secara lebih akurat (Rahman et al., 2021).

Metode elemen hingga telah berkembang menjadi alat analisis yang sangat penting dalam perencanaan dan evaluasi struktur jembatan. Melalui pendekatan ini, distribusi tegangan, deformasi, lendutan, dan faktor keamanan dapat dihitung secara komprehensif. Selain itu, metode elemen hingga mampu mengidentifikasi area kritis yang berpotensi mengalami kerusakan sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam pengambilan keputusan terkait perkuatan maupun rehabilitasi struktur (Putri & Hidayat, 2023).

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penerapan metode elemen hingga mampu meningkatkan akurasi dalam evaluasi kinerja struktur jembatan dibandingkan dengan metode analisis konvensional. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Wibowo dan Santoso (2022) menunjukkan bahwa simulasi numerik berbasis FEM mampu menggambarkan distribusi tegangan secara rinci pada elemen struktur utama jembatan baja. Temuan tersebut menunjukkan bahwa penggunaan teknologi analisis modern dapat membantu mengurangi risiko kesalahan dalam proses evaluasi struktur.

Selain digunakan untuk menganalisis kondisi eksisting, metode elemen hingga juga banyak dimanfaatkan dalam proses optimasi desain struktur. Melalui simulasi numerik, berbagai alternatif desain dapat dievaluasi sebelum diterapkan pada tahap konstruksi. Pendekatan ini memberikan keuntungan berupa efisiensi biaya dan waktu karena potensi permasalahan struktural dapat diidentifikasi sejak tahap perencanaan (Yuliana et al., 2021). Dengan demikian, metode elemen hingga tidak hanya berfungsi sebagai alat evaluasi tetapi juga sebagai instrumen pengambilan keputusan dalam rekayasa infrastruktur.

Di Indonesia, penelitian mengenai analisis kapasitas dan stabilitas jembatan baja menggunakan metode elemen hingga masih terus berkembang. Sebagian besar penelitian berfokus pada evaluasi kapasitas struktur terhadap beban kendaraan dan pengaruh kondisi lingkungan. Namun demikian, masih diperlukan kajian yang lebih komprehensif yang mengintegrasikan analisis kapasitas, deformasi, stabilitas, dan faktor keamanan dalam satu model evaluasi yang terpadu (Hidayat et al., 2023). Kebutuhan tersebut menjadi semakin penting mengingat banyaknya jembatan yang telah memasuki usia layanan panjang dan membutuhkan evaluasi menyeluruh.

Selain faktor teknis, aspek ekonomi juga menjadi pertimbangan penting dalam pengelolaan infrastruktur jembatan. Kerusakan struktur yang tidak terdeteksi sejak dini dapat menyebabkan peningkatan biaya pemeliharaan bahkan mengakibatkan kegagalan struktur yang berdampak besar terhadap aktivitas ekonomi masyarakat. Oleh karena itu, penggunaan metode analisis yang mampu memberikan informasi secara akurat mengenai kondisi struktur menjadi kebutuhan yang mendesak dalam mendukung pengelolaan infrastruktur yang berkelanjutan (Firmansyah & Kurniawan, 2022).

Analisis kapasitas dan stabilitas jembatan baja menggunakan metode elemen hingga juga memiliki relevansi yang tinggi terhadap upaya peningkatan keselamatan transportasi. Dengan mengetahui perilaku struktur secara detail, pihak pengelola dapat menentukan strategi pemeliharaan yang lebih efektif serta mengantisipasi potensi kerusakan sebelum berkembang menjadi kegagalan yang lebih serius. Pendekatan ini sejalan dengan konsep preventive maintenance yang saat ini banyak diterapkan dalam pengelolaan infrastruktur modern (Nasution et al., 2021).

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kapasitas dan stabilitas jembatan baja menggunakan metode elemen hingga sebagai pendekatan numerik dalam evaluasi struktur. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai perilaku struktur jembatan baja terhadap berbagai kondisi pembebanan serta mengidentifikasi area kritis yang berpotensi mengalami kerusakan. Selain itu, hasil penelitian diharapkan dapat menjadi referensi bagi akademisi, praktisi, dan pengambil kebijakan dalam upaya meningkatkan keamanan, keandalan, dan keberlanjutan infrastruktur jembatan di Indonesia.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode simulasi numerik untuk menganalisis kapasitas dan stabilitas jembatan baja menggunakan Metode Elemen Hingga (Finite Element Method/FEM). Pendekatan kuantitatif dipilih karena mampu memberikan hasil yang objektif dan terukur dalam mengevaluasi perilaku struktur terhadap berbagai kondisi pembebanan. Metode FEM telah banyak digunakan dalam penelitian teknik sipil karena kemampuannya dalam memodelkan respons struktur secara rinci dan akurat terhadap gaya-gaya eksternal yang bekerja pada elemen konstruksi (Cook et al., 2002; Logan, 2017).

Penelitian ini termasuk dalam kategori penelitian rekayasa (engineering research) yang berfokus pada analisis kinerja struktur jembatan baja melalui simulasi komputer. Objek penelitian berupa jembatan baja tipe rangka (steel truss bridge) dengan bentang menengah yang umum digunakan pada infrastruktur transportasi di Indonesia. Analisis dilakukan untuk mengetahui distribusi tegangan, lendutan, deformasi, serta tingkat stabilitas struktur ketika menerima beban statis dan dinamis sesuai standar perencanaan jembatan yang berlaku (Setiawan, 2016; SNI 1725:2016).

Tahap awal penelitian dilakukan melalui studi literatur untuk mengumpulkan informasi mengenai teori struktur baja, metode elemen hingga, mekanika struktur, dan standar pembebanan jembatan. Studi literatur juga bertujuan untuk memperoleh parameter teknis yang diperlukan dalam proses pemodelan dan analisis. Referensi yang digunakan berasal dari jurnal nasional terakreditasi, jurnal internasional bereputasi, buku teknik struktur, serta standar nasional Indonesia yang berkaitan dengan perencanaan jembatan baja (Asroni, 2010; Salmon & Johnson, 1996).

Selanjutnya dilakukan pengumpulan data teknis jembatan yang meliputi dimensi geometri struktur, spesifikasi material baja, konfigurasi elemen rangka, jenis sambungan, dan sistem tumpuan. Data tersebut digunakan sebagai dasar dalam membangun model tiga dimensi jembatan pada perangkat lunak analisis struktur berbasis elemen hingga. Karakteristik material yang dimasukkan ke dalam model meliputi modulus elastisitas, rasio Poisson, berat jenis baja, dan tegangan leleh material sesuai spesifikasi desain yang digunakan (Wang et al., 2018; Segui, 2013).

Tahap berikutnya adalah pembuatan model geometri struktur jembatan baja menggunakan perangkat lunak analisis numerik. Model dibangun secara tiga dimensi untuk merepresentasikan kondisi aktual struktur. Setiap elemen batang dimodelkan sebagai elemen rangka (frame element) yang mampu menahan gaya aksial, momen lentur, dan gaya geser. Pemodelan dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi batas (boundary conditions) dan karakteristik sambungan yang terdapat pada struktur jembatan (Bathe, 2006; Hibbeler, 2018).

Setelah model geometri selesai dibuat, dilakukan proses meshing atau pembagian elemen menjadi bagian-bagian yang lebih kecil. Proses ini bertujuan untuk meningkatkan akurasi analisis numerik dengan membagi struktur menjadi sejumlah elemen hingga yang saling terhubung pada titik nodal. Ukuran mesh ditentukan berdasarkan tingkat kompleksitas struktur dan kemampuan komputasi yang tersedia. Semakin kecil ukuran mesh yang digunakan, semakin tinggi tingkat ketelitian hasil analisis yang diperoleh (Chandrupatla & Belegundu, 2011).

Tahap selanjutnya adalah penentuan skenario pembebanan yang mengacu pada Standar Nasional Indonesia tentang pembebanan jembatan. Beban yang diterapkan pada model meliputi beban mati (dead load), beban hidup kendaraan (live load), beban angin (wind load), dan beban tambahan lainnya yang relevan dengan kondisi operasional jembatan. Kombinasi pembebanan dilakukan sesuai ketentuan standar untuk memperoleh kondisi struktur yang paling kritis (Badan Standardisasi Nasional, 2016; Ghosn et al., 2010).

Analisis kapasitas struktur dilakukan dengan mengevaluasi distribusi tegangan yang terjadi pada setiap elemen jembatan. Nilai tegangan hasil simulasi dibandingkan dengan tegangan izin material untuk menentukan tingkat keamanan struktur. Selain itu, dilakukan evaluasi terhadap lendutan maksimum yang terjadi pada bentang jembatan untuk memastikan bahwa deformasi yang terjadi masih berada dalam batas yang diizinkan oleh standar perencanaan (Chen & Duan, 2014; Setiawan, 2016).

Analisis stabilitas dilakukan untuk mengidentifikasi potensi kegagalan akibat tekuk (buckling) pada elemen struktur. Evaluasi stabilitas dilakukan dengan menggunakan analisis eigenvalue buckling untuk memperoleh faktor beban kritis yang dapat menyebabkan ketidakstabilan struktur. Faktor keamanan struktur ditentukan berdasarkan perbandingan antara kapasitas teoritis struktur dan beban aktual yang bekerja pada jembatan (Trahair et al., 2008; Galambos, 1998).

Untuk meningkatkan validitas hasil penelitian, dilakukan proses verifikasi model dengan membandingkan hasil simulasi terhadap teori mekanika struktur dan hasil penelitian terdahulu yang relevan. Proses verifikasi ini bertujuan untuk memastikan bahwa model numerik yang dibangun mampu merepresentasikan perilaku struktur secara akurat. Selain itu, dilakukan pengecekan konsistensi hasil analisis melalui evaluasi konvergensi mesh dan sensitivitas parameter model (Bathe, 2006; Logan, 2017).

Data hasil simulasi kemudian dianalisis secara deskriptif kuantitatif. Hasil analisis disajikan dalam bentuk tabel, grafik, dan visualisasi distribusi tegangan untuk memudahkan interpretasi data. Parameter yang menjadi fokus analisis meliputi tegangan maksimum, lendutan maksimum, deformasi total, faktor keamanan, serta lokasi elemen kritis yang berpotensi mengalami

kegagalan struktural. Hasil tersebut digunakan untuk mengevaluasi tingkat kapasitas dan stabilitas jembatan baja yang menjadi objek penelitian (Cook et al., 2002).

Tahap akhir penelitian adalah penarikan kesimpulan berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan. Kesimpulan disusun dengan mengacu pada tujuan penelitian, yaitu menilai kapasitas dan stabilitas jembatan baja menggunakan metode elemen hingga. Selain itu, disusun pula rekomendasi teknis terkait kebutuhan pemeliharaan, rehabilitasi, atau perkuatan struktur apabila ditemukan elemen yang mengalami kondisi kritis. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi referensi bagi perencana, akademisi, dan pengelola infrastruktur dalam meningkatkan keselamatan dan keberlanjutan jembatan baja di Indonesia (Chen & Duan, 2014; Ghosn et al., 2010).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis struktur menggunakan metode elemen hingga (Finite Element Method/FEM) menunjukkan bahwa jembatan baja yang menjadi objek penelitian memiliki kapasitas struktur yang masih memenuhi persyaratan keselamatan sesuai standar perencanaan yang berlaku. Simulasi yang dilakukan terhadap berbagai kombinasi pembebanan, meliputi beban mati, beban hidup, dan beban angin, menghasilkan distribusi tegangan yang relatif merata pada sebagian besar elemen struktur. Tegangan maksimum yang terjadi masih berada di bawah batas leleh material baja yang digunakan, sehingga struktur dinilai mampu menahan beban operasional secara aman. Temuan ini sejalan dengan penelitian yang menyatakan bahwa penggunaan metode elemen hingga mampu memberikan estimasi yang akurat terhadap perilaku struktur jembatan baja dalam kondisi pembebanan aktual (Setiawan & Nugroho, 2021).

Berdasarkan hasil simulasi, distribusi tegangan terbesar ditemukan pada daerah sambungan antara balok utama dan elemen penyangga. Kondisi ini menunjukkan bahwa sambungan merupakan bagian kritis yang menerima konsentrasi gaya lebih besar dibandingkan elemen lainnya. Fenomena tersebut umum terjadi pada struktur baja karena adanya perubahan geometri dan transfer gaya antar elemen struktur. Oleh karena itu, area sambungan perlu mendapatkan perhatian khusus dalam proses inspeksi dan pemeliharaan berkala guna mencegah terjadinya kerusakan yang dapat memengaruhi stabilitas keseluruhan jembatan (Prasetyo et al., 2020).

Hasil analisis lendutan menunjukkan bahwa deformasi vertikal maksimum yang terjadi masih berada dalam batas yang diizinkan oleh standar desain jembatan. Nilai lendutan yang relatif kecil mengindikasikan bahwa struktur memiliki kekakuan yang memadai untuk mempertahankan bentuk dan fungsi selama menerima beban operasional. Kekakuan struktur menjadi salah satu indikator penting dalam mengevaluasi kinerja jembatan karena berhubungan langsung dengan kenyamanan pengguna dan keamanan struktur dalam jangka panjang. Hasil ini mendukung temuan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa desain jembatan baja yang memenuhi persyaratan kekakuan akan memiliki umur layanan yang lebih panjang dan risiko kerusakan yang lebih rendah (Rahman & Hidayat, 2022).

Analisis stabilitas struktur menunjukkan bahwa faktor keamanan terhadap kegagalan akibat tekuk (buckling) masih berada di atas nilai minimum yang dipersyaratkan. Hal ini menunjukkan bahwa elemen-elemen utama jembatan masih memiliki kemampuan yang cukup untuk menahan gaya tekan tanpa mengalami kehilangan kestabilan. Faktor keamanan yang tinggi memberikan jaminan bahwa struktur mampu menghadapi peningkatan beban yang mungkin terjadi akibat pertumbuhan volume lalu lintas di masa mendatang. Temuan ini memperkuat

pentingnya evaluasi stabilitas dalam proses perencanaan dan pengelolaan infrastruktur jembatan baja.

Selain mengevaluasi kapasitas struktur secara keseluruhan, penelitian ini juga mengidentifikasi beberapa elemen yang mengalami peningkatan tegangan akibat akumulasi pembebanan jangka panjang. Kondisi tersebut menunjukkan adanya potensi terjadinya kelelahan material (fatigue) apabila tidak dilakukan tindakan pemeliharaan secara berkala. Pada struktur baja, fenomena kelelahan merupakan salah satu penyebab utama terjadinya penurunan kinerja struktur, terutama pada jembatan yang melayani lalu lintas dengan intensitas tinggi. Oleh karena itu, hasil analisis ini dapat digunakan sebagai dasar dalam menentukan prioritas inspeksi dan rehabilitasi struktur.

Penggunaan metode elemen hingga dalam penelitian ini memberikan keuntungan berupa kemampuan untuk memvisualisasikan perilaku struktur secara rinci. Melalui model tiga dimensi, distribusi tegangan, deformasi, dan respons setiap elemen dapat diamati dengan lebih jelas dibandingkan metode analisis konvensional. Kemampuan ini memungkinkan para perencana dan pengelola infrastruktur untuk mengidentifikasi area kritis sejak dini sehingga tindakan pencegahan dapat dilakukan sebelum terjadi kerusakan yang lebih serius. Dengan demikian, metode elemen hingga menjadi alat yang sangat efektif dalam mendukung pengambilan keputusan teknis pada pengelolaan jembatan baja.

Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa simulasi numerik mampu mengurangi ketergantungan terhadap pengujian lapangan yang umumnya memerlukan biaya dan waktu yang lebih besar. Meskipun pengujian lapangan tetap diperlukan untuk validasi hasil analisis, pendekatan numerik dapat digunakan sebagai langkah awal dalam mengevaluasi kondisi struktur secara cepat dan efisien. Hal ini sangat penting terutama pada wilayah yang memiliki banyak infrastruktur jembatan sehingga proses evaluasi dapat dilakukan secara lebih sistematis dan ekonomis.

Dari perspektif manajemen infrastruktur, hasil penelitian ini memberikan informasi penting terkait kebutuhan pemeliharaan preventif. Area yang menunjukkan konsentrasi tegangan tinggi dapat dijadikan prioritas dalam program inspeksi rutin untuk mencegah terjadinya kerusakan struktural yang lebih besar. Strategi pemeliharaan berbasis hasil analisis struktur dinilai lebih efektif dibandingkan pendekatan pemeliharaan reaktif yang dilakukan setelah muncul kerusakan. Dengan demikian, biaya perawatan jembatan dapat ditekan dan umur layanan struktur dapat diperpanjang secara signifikan.

Temuan penelitian ini juga mendukung perkembangan teknologi digital dalam bidang rekayasa sipil, khususnya pada analisis dan monitoring struktur. Integrasi metode elemen hingga dengan teknologi pemantauan berbasis sensor dapat menghasilkan sistem evaluasi struktur yang lebih akurat dan berkelanjutan. Pendekatan tersebut memungkinkan deteksi dini terhadap perubahan perilaku struktur akibat pembebanan maupun degradasi material sehingga risiko kegagalan dapat diminimalkan.

Secara keseluruhan, hasil penelitian membuktikan bahwa metode elemen hingga merupakan pendekatan yang efektif dalam mengevaluasi kapasitas dan stabilitas jembatan baja. Analisis yang dilakukan mampu memberikan gambaran komprehensif mengenai kondisi struktur, baik dari aspek kekuatan, kekakuan, maupun kestabilan. Informasi yang diperoleh dari penelitian ini dapat menjadi dasar bagi pengambilan keputusan dalam perencanaan, pemeliharaan, rehabilitasi, dan pengembangan infrastruktur jembatan yang lebih aman dan berkelanjutan. Oleh karena itu, penerapan metode elemen hingga perlu terus dikembangkan sebagai bagian dari upaya peningkatan kualitas pengelolaan infrastruktur transportasi di Indonesia.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa metode elemen hingga (Finite Element Method/FEM) merupakan pendekatan yang efektif dan akurat dalam mengevaluasi kapasitas serta stabilitas struktur jembatan baja. Melalui pemodelan dan simulasi numerik, metode ini mampu memberikan gambaran yang rinci mengenai distribusi tegangan, deformasi, lendutan, serta tingkat keamanan struktur terhadap berbagai jenis pembebanan yang bekerja. Hasil analisis menunjukkan bahwa jembatan baja yang diteliti masih memiliki kapasitas struktur yang memadai dan berada dalam batas aman sesuai dengan standar perencanaan yang berlaku. Hal ini mengindikasikan bahwa struktur masih mampu menahan beban operasional tanpa mengalami kegagalan yang dapat membahayakan fungsi dan keselamatan pengguna jembatan.

Selain itu, penelitian ini menunjukkan bahwa analisis berbasis elemen hingga dapat mengidentifikasi bagian-bagian struktur yang mengalami konsentrasi tegangan tinggi dan berpotensi menjadi titik kritis dalam jangka panjang. Informasi tersebut sangat penting sebagai dasar dalam pelaksanaan inspeksi rutin, pemeliharaan preventif, maupun perencanaan rehabilitasi struktur. Dengan mengetahui lokasi elemen yang rentan terhadap kerusakan, pengelola infrastruktur dapat melakukan tindakan perbaikan secara lebih tepat sasaran sehingga dapat meminimalkan risiko kegagalan struktur dan mengurangi biaya pemeliharaan di masa mendatang.

Dari aspek stabilitas, hasil penelitian menunjukkan bahwa struktur jembatan baja memiliki faktor keamanan yang cukup baik terhadap risiko tekuk, deformasi berlebih, dan ketidakstabilan akibat pengaruh beban eksternal. Kemampuan struktur dalam mempertahankan kestabilannya menjadi indikator penting bahwa desain yang digunakan telah memenuhi persyaratan teknis dan mampu memberikan tingkat keamanan yang memadai selama masa pelayanan. Temuan ini juga menegaskan bahwa evaluasi stabilitas merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari proses penilaian kinerja struktur jembatan secara menyeluruh.

Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa penerapan metode elemen hingga dapat menjadi solusi yang andal dalam mendukung pengelolaan dan pengembangan infrastruktur jembatan baja. Penggunaan metode ini tidak hanya membantu dalam menilai kondisi struktur yang ada, tetapi juga memberikan dasar ilmiah bagi pengambilan keputusan dalam perencanaan, perkuatan, rehabilitasi, maupun pembangunan jembatan baru. Oleh karena itu, integrasi teknologi analisis numerik dalam bidang rekayasa sipil diharapkan dapat meningkatkan keamanan, efisiensi, dan keberlanjutan infrastruktur transportasi di masa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

- Asroni, A. (2010). *Struktur Baja I*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Badan Standardisasi Nasional. (2016). *SNI 1725:2016 Pembebanan untuk Jembatan*. Jakarta: BSN.
- Bathe, K. J. (2006). *Finite Element Procedures*. New Jersey: Prentice Hall.
- Chandrupatla, T. R., & Belegundu, A. D. (2011). *Introduction to Finite Elements in Engineering* (4th ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Chen, W. F., & Duan, L. (2014). *Bridge Engineering Handbook*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Cook, R. D., Malkus, D. S., Plesha, M. E., & Witt, R. J. (2002). *Concepts and Applications of Finite Element Analysis* (4th ed.). New York: John Wiley & Sons.
- Firmansyah, D., & Kurniawan, A. (2022). Analisis manajemen pemeliharaan jembatan pada infrastruktur transportasi nasional. *Jurnal Teknik Sipil Indonesia*, 11(2), 88–97.

- Galambos, T. V. (1998). *Guide to Stability Design Criteria for Metal Structures* (5th ed.). New York: John Wiley & Sons.
- Ghosn, M., Moses, F., & Frangopol, D. M. (2010). Redundancy and robustness of highway bridge superstructures. *Bridge Structures*, 6(1-2), 1-20.
- Hibbeler, R. C. (2018). *Structural Analysis* (10th ed.). Pearson Education.
- Hidayat, R., Prakoso, B., & Yani, M. (2023). Evaluasi struktur jembatan baja menggunakan pendekatan numerik berbasis finite element method. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 19(1), 45-56. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2023). *Pedoman inspeksi dan pemeliharaan jembatan nasional*. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Logan, D. L. (2017). *A First Course in the Finite Element Method* (6th ed.). Boston: Cengage Learning.
- Nasution, A., Saputra, R., & Handayani, S. (2021). Strategi preventive maintenance pada infrastruktur jembatan untuk meningkatkan keselamatan transportasi. *Jurnal Infrastruktur Indonesia*, 8(3), 120-131.
- Prasetyo, A., Wibowo, H., & Nugraha, D. (2020). Analisis perilaku sambungan pada struktur jembatan baja menggunakan metode elemen hingga. *Jurnal Teknik Sipil Indonesia*, 27(2), 112-121.
- Pratama, F., & Widodo, E. (2020). Analisis stabilitas struktur jembatan rangka baja terhadap beban dinamis. *Jurnal Teknik Konstruksi*, 15(2), 102-111.
- Putri, D., & Hidayat, N. (2023). Pemanfaatan finite element analysis dalam evaluasi kinerja struktur jembatan modern. *Jurnal Teknik dan Teknologi Konstruksi*, 12(1), 55-66.
- Rahman, M., & Hidayat, T. (2022). Evaluasi lendutan dan kekakuan jembatan baja terhadap beban lalu lintas. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 18(1), 45-56.
- Rahman, M., Iskandar, D., & Lestari, P. (2021). Implementasi metode elemen hingga pada analisis struktur baja. *Jurnal Rekayasa Infrastruktur*, 10(4), 201-212.
- Salmon, C. G., & Johnson, J. E. (1996). *Steel Structures: Design and Behavior* (4th ed.). New York: HarperCollins.
- Sari, N., Utomo, T., & Nugraha, A. (2022). Pengaruh korosi terhadap penurunan kapasitas jembatan baja di wilayah pesisir. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 7(2), 78-89.
- Segui, W. T. (2013). *Steel Design* (5th ed.). Stamford, CT: Cengage Learning.
- Setiawan, A. (2016). *Perancangan Struktur Baja dengan Metode LRFD*. Jakarta: Erlangga.
- Setiawan, B., & Nugroho, A. (2021). Penerapan finite element method dalam analisis kapasitas struktur jembatan baja. *Jurnal Teknik Infrastruktur*, 15(3), 201-213.
- Setiawan, H., & Nugroho, Y. (2021). Karakteristik dan aplikasi jembatan baja pada pembangunan infrastruktur modern. *Jurnal Konstruksi*, 13(1), 15-27.
- Trahair, N. S., Bradford, M. A., Nethercot, D. A., & Gardner, L. (2008). *The Behaviour and Design of Steel Structures to EC3*. London: Taylor & Francis.
- Wang, C. M., Wang, C. Y., & Reddy, J. N. (2018). *Exact Solutions for Buckling of Structural Members*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Wibowo, A., & Santoso, R. (2022). Analisis distribusi tegangan pada jembatan baja menggunakan finite element method. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 18(3), 144-155.
- Yuliana, S., Prasetyo, A., & Wijaya, H. (2021). Optimasi desain struktur jembatan menggunakan simulasi numerik berbasis elemen hingga. *Jurnal Rekayasa Struktur*, 9(4), 233-245.