Jurnal TEKNIK SIPIL

Jurnal Teknik Sipil, 19(1), Oktober 2026: 82 – 89
DOI: 10.24002/jts.v19i1.16575
Available Online at: https://ojs.uajy.ac.id/index.php/jts/issue/archive

EVALUASI RESPONS JEMBATAN RANGKA EKSISTING TERHADAP BEBAN OPERASIONAL DAN GEMPA RENCANA

Muhammad Hanif Faisal[1], **Alan Putranto**[1*], **Khairul Muttaqin**[1], **Khodijah Al Kubro**[1], **Aisyah**[1]
[1]Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan, Politeknik Negeri Ketapang
Jln Rangga Sentap, Dalong-Sukaharja, Ketapang
[*]Corresponding authors: alanputranto@politap.ac.id

Abstract: Existing steel truss bridges require structural performance evaluation to ensure their continued serviceability under operational and seismic loading, particularly following updates to national seismic hazard maps. This study evaluates the deformation response of the existing Pawan 2 steel Warren truss bridge in Ketapang Regency, Indonesia, by integrating numerical structural analysis and field-based vibration measurements. A finite element model was developed using ETABS to simulate operational and design earthquake loading combinations based on Indonesian standards SNI 1725:2016 and SNI 2833:2016. Field measurements were conducted using smartphone-based accelerometers to record ambient vibrations under operational traffic conditions. The acceleration signals were processed through baseline correction, filtering, and double numerical integration to estimate dynamic displacement. Structural performance was assessed by comparing numerical and measured displacement responses against an allowable deflection limit of L/800. The results indicate that operational loading produced a maximum numerical deflection of 51.299 mm, while the measured maximum dynamic displacement reached 25.6 mm, both remaining below the allowable limit of 60 mm. In contrast, the design earthquake loading resulted in a maximum deflection of 160.042 mm, corresponding to a deflection ratio of 2.67. These findings indicate that the bridge satisfies the adopted deformation criterion under operational loading but exceeds it under the design earthquake scenario. The integrated assessment provides preliminary evidence of seismic deformation vulnerability and highlights the importance of further structural capacity evaluation, detailed seismic assessment, and risk-informed maintenance planning for existing regional bridges.

Keywords: Existing steel truss bridge, seismic loading, structural deflection, smartphone accelerometer, structural performance assessment

Abstrak: Jembatan rangka baja eksisting memerlukan evaluasi kinerja struktur untuk memastikan keberlanjutan fungsi pelayanan terhadap pembebanan operasional dan gempa, khususnya setelah pembaruan peta bahaya gempa nasional. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi respons deformasi Jembatan Pawan 2 tipe rangka baja Warren Truss di Kabupaten Ketapang melalui integrasi analisis numerik dan pengukuran getaran di lapangan. Pemodelan elemen hingga menggunakan ETABS dilakukan untuk menganalisis respons struktur akibat kombinasi pembebanan operasional dan gempa rencana berdasarkan SNI 1725:2016 dan SNI 2833:2016. Pengukuran lapangan menggunakan akselerometer berbasis *smartphone* dilakukan untuk merekam getaran struktur akibat aktivitas lalu lintas. Data percepatan diolah melalui koreksi garis dasar, penyaringan sinyal, dan integrasi numerik ganda untuk memperoleh estimasi perpindahan dinamis. Evaluasi kinerja dilakukan dengan membandingkan respons perpindahan hasil pemodelan dan pengukuran terhadap batas lendutan izin L/800. Hasil analisis menunjukkan bahwa pembebanan operasional menghasilkan lendutan maksimum sebesar 51,299 mm, sedangkan perpindahan dinamis maksimum hasil pengukuran mencapai 25,6 mm. Kedua nilai tersebut berada di bawah batas lendutan izin sebesar 60 mm. Sebaliknya, pembebanan gempa rencana menghasilkan lendutan maksimum sebesar 160,042 mm dengan rasio lendutan mencapai 2,67. Temuan ini menunjukkan bahwa struktur masih memenuhi kriteria deformasi yang digunakan pada kondisi operasional, tetapi melampaui batas evaluasi pada skenario gempa rencana. Integrasi kedua pendekatan memberikan indikasi awal kerentanan deformasi seismik dan menegaskan pentingnya evaluasi kapasitas struktur, kajian seismik lanjutan, serta perencanaan pemeliharaan jembatan eksisting berbasis risiko.

Kata kunci: jembatan rangka baja eksisting, pembebanan gempa, lendutan struktur, akselerometer *smartphone,* evaluasi kinerja struktur

1. PENDAHULUAN

Jembatan merupakan infrastruktur strategis yang berperan penting dalam mendukung konektivitas wilayah dan aktivitas ekonomi sehingga harus mempertahankan fungsi dan kinerja strukturalnya selama umur pelayanan, termasuk ketika menerima pengaruh gempa. Perkembangan informasi mengenai sumber gempa, karakteristik gerakan tanah, dan tingkat bahaya seismik dapat menghasilkan tuntutan gempa yang berbeda dari asumsi perencanaan awal. Oleh karena itu, evaluasi jembatan eksisting perlu mempertimbangkan perubahan parameter kegempaan serta pengaruhnya terhadap respons struktur. Penelitian Nettis et al. (2024) menekankan pentingnya ketidakpastian karakteristik jembatan dalam evaluasi risiko seismik, sedangkan Ning et al. (2024) dan Aghaeidoost dan Billah (2025) menunjukkan relevansi pendekatan evaluasi seismik pada kelompok jembatan regional.

Indonesia secara berkala memperbarui peta sumber dan bahaya gempa berdasarkan perkembangan data geologi, geodesi, seismologi, serta metode Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA). Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017 dikembangkan melalui pembaruan katalog gempa, identifikasi sumber sesar aktif, dan pemodelan gerakan tanah untuk memperkirakan tingkat bahaya seismik nasional (PuSGeN, 2017; Irsyam et al., 2020). Selanjutnya, Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2024 memperbarui informasi sumber gempa, karakteristik sesar, parameter aktivitas tektonik, dan model bahaya seismik berdasarkan perkembangan data terbaru (PuSGeN, 2025). Perubahan tersebut berpotensi memengaruhi percepatan tanah dan spektrum respons yang digunakan dalam analisis struktur jembatan. Evaluasi pengaruh gempa pada jembatan mengacu pada SNI 2833:2016, sedangkan pembebanan struktur ditentukan berdasarkan SNI 1725:2016 (Badan Standardisasi Nasional, 2016a, 2016b).

Perubahan parameter bahaya gempa dapat memengaruhi respons dinamik struktur jembatan, khususnya perpindahan, gaya aksial, gaya geser, dan momen lentur. Besarnya perubahan respons dipengaruhi oleh konfigurasi struktur, distribusi massa, kekakuan, karakteristik material, serta kondisi pembebanan. Opabola dan Mangalathu (2023) mengevaluasi kerentanan seismik jembatan dengan mempertimbangkan karakteristik elemen struktur eksisting, sedangkan Pinto et al. (2024) menunjukkan pengaruh ketidakpastian kondisi gerusan terhadap kerentanan seismik jembatan. Song et al. (2024) juga mengkaji respons dan kerentanan jembatan akibat variasi gerakan tanah, sementara Al Hawarneh dan Alam (2025) mempertimbangkan pengaruh perubahan kondisi struktur terhadap kerentanan seismik jembatan selama masa pelayanan. Kajian tersebut memperlihatkan bahwa respons struktur terhadap gempa tidak hanya ditentukan oleh tingkat bahaya seismik, tetapi juga karakteristik dan kondisi masing-masing jembatan.

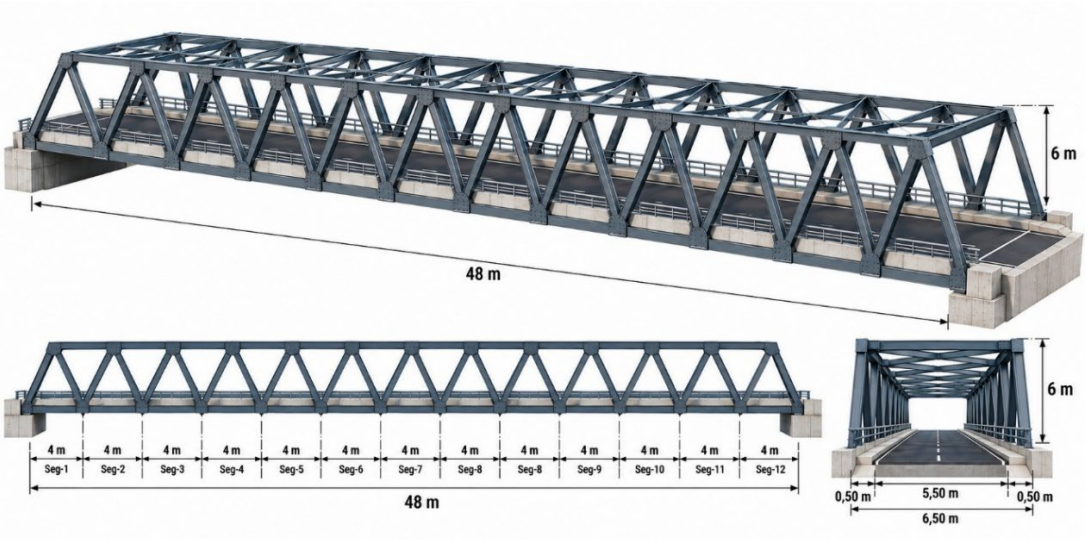
Pada skala regional, evaluasi seismik jembatan berkembang melalui pendekatan yang mempertimbangkan variasi karakteristik struktur, distribusi bahaya gempa, serta ketidakpastian model. Du et al. (2023) membahas pengembangan metodologi penilaian risiko dan ketahanan seismik regional, sedangkan Zhong et al. (2024) mengembangkan pendekatan kerentanan seismik jaringan jembatan berdasarkan karakteristik kelompok struktur. Ning et al. (2024) menerapkan pendekatan pemodelan untuk meningkatkan efisiensi penilaian kerentanan seismik kelompok jembatan. Sementara itu, Sabara dan Imran (2024) menunjukkan pentingnya evaluasi tuntutan dan kapasitas struktur dalam penilaian kinerja seismik jembatan eksisting. Penelitian-penelitian tersebut memberikan dasar bahwa evaluasi respons struktur merupakan tahapan penting untuk memahami pengaruh variasi bahaya gempa terhadap perilaku jembatan.

Kalimantan secara umum memiliki aktivitas seismik yang relatif lebih rendah dibandingkan wilayah Indonesia yang berdekatan dengan zona subduksi aktif. Meskipun demikian, keterbatasan data kejadian gempa dan informasi sumber sesar dapat menimbulkan ketidakpastian dalam estimasi bahaya seismik. Yuliastuti et al. (2026) menunjukkan bahwa informasi regangan geodetik berdasarkan pengamatan Global Navigation Satellite System (GNSS) dapat dimanfaatkan untuk memperkirakan laju seismisitas di Kalimantan. Perkembangan informasi tersebut menunjukkan pentingnya pembaruan parameter kegempaan dalam evaluasi infrastruktur eksisting, termasuk jembatan di Kabupaten Ketapang. Oleh karena itu, perubahan parameter bahaya gempa perlu ditinjau terhadap respons struktur untuk mengetahui sensitivitas elemen jembatan pada wilayah dengan tingkat seismisitas relatif rendah.

Meskipun berbagai penelitian telah membahas kerentanan, risiko, dan ketahanan seismik jembatan, kajian yang secara khusus menghubungkan pembaruan peta gempa nasional dengan perubahan respons struktur jembatan eksisting di Kabupaten Ketapang masih terbatas. Sedangkan, dua dari lima jembatan utama penghubung Kabupaten Ketapang, jembatan rangka baja *Warren Truss* Pawan 1 memiliki umur layan 37 Tahun dan Pawan 2 memiliki umur layan 32 tahun (Putranto dkk, 2026). Jembatan-jembatan tersebut diperkirakan didesain tanpa mempertimbangkan gaya gempa. Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh pembaruan peta gempa 2024 terhadap gaya gempa rencana dan beban operasional terhadap respons struktur jembatan regional di Kabupaten Ketapang melalui pemodelan elemen hingga berbasis aplikasi Etabs versi 22 berdasarkan karakteristik struktur eksisting Jembatan Pawan 2 Segmen 1. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi respons lendutan struktur jembatan di Kabupaten Ketapang melalui integrasi analisis numerik menggunakan ETABS dan pengukuran lapangan berbasis sensor akselerometer. Evaluasi difokuskan pada perbandingan lendutan akibat dua kondisi pembebanan, yaitu kombinasi pembebanan operasional dan pembebanan gempa rencana, terhadap lendutan eksisting serta batas lendutan izin. Hasil penelitian diharapkan memberikan informasi kuantitatif mengenai karakteristik deformasi dan tingkat pemanfaatan batas lendutan struktur sebagai dasar evaluasi kinerja serta pengelolaan infrastruktur jembatan di Kabupaten Ketapang.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif melalui integrasi analisis numerik dan pengukuran lapangan untuk mengevaluasi respons lendutan struktur jembatan eksisting rangka baja *Warren Truss* Pawan 2 di Kabupaten Ketapang, Kalimantan Barat. Jembatan yang dimodelkan pada penelitian ini adalah Jembatan Segmen 1 dengan panjang 48 meter dan lebar 6,5 meter serta tinggi 6 meter. Detail gambar dan visualisasi model ditunjukan pada Gambar 1.



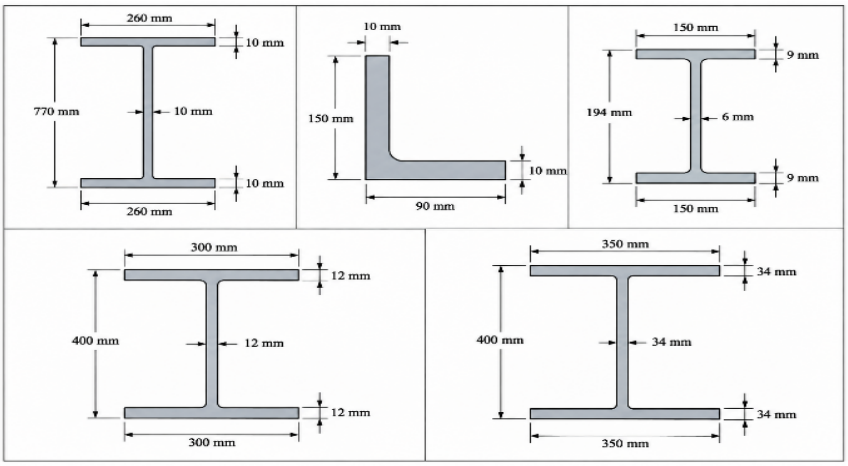
Gambar 1. Visualisasi 3D model jembatan Pawan 2 Segmen 1

Evaluasi dilakukan dengan membandingkan hasil analisis struktur menggunakan perangkat lunak ETABS, respons perpindahan dinamik berdasarkan pengukuran sensor akselerometer, serta batas lendutan izin yang ditetapkan berdasarkan kriteria pelayanan struktur. Pendekatan ini digunakan untuk mengidentifikasi perbedaan respons deformasi pada kondisi pembebanan operasional dan gempa rencana serta mengevaluasi tingkat pemanfaatan batas lendutan struktur.

Material baja struktural pada pemodelan ETABS menggunakan spesifikasi ASTM A36 dengan tegangan leleh (yield strength, Fy) sebesar 250 MPa, kuat tarik (ultimate tensile strength, Fu) sebesar 400 MPa, modulus elastisitas (E) sebesar 200.000 MPa, rasio Poisson 0,30, dan berat volume 78,5 kN/m³. Material dimodelkan sebagai

material homogen, isotropik, dan elastis linier untuk mengevaluasi respons struktur jembatan terhadap kombinasi pembebanan yang ditinjau.

Material beton dalam pemodelan struktur jembatan menggunakan ETABS diasumsikan bersifat homogen dan isotropik, dengan kuat tekan karakteristik (f'c) sebesar 27,58 MPa, modulus elastisitas 30.000 MPa, rasio Poisson 0,20, dan berat volume 24 kN/m³. Modulus geser beton ditetapkan sebesar 12.500 MPa, sedangkan koefisien muai termal sebesar 5,5 × 10^{-6} /°C. Parameter tersebut digunakan untuk merepresentasikan perilaku elastis material beton dalam analisis respons struktur jembatan terhadap kombinasi pembebanan yang ditinjau. Detail profil yang terpasang dilapangan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Profil baja struktural

Analisis numerik dilakukan terhadap dua kondisi pembebanan, yaitu pembebanan operasional dan kombinasi gempa rencana. Kombinasi pembebanan operasional menggambarkan kondisi pelayanan berdasarkan asumsi beban yang bekerja pada struktur. Kombinasi gempa rencana ditetapkan dengan mempertimbangkan kontribusi beban permanen, proporsi beban hidup yang dipersyaratkan, serta pengaruh gempa pada arah longitudinal dan transversal jembatan.

Penentuan pembebanan mengacu pada SNI 1725:2016, sedangkan analisis pengaruh gempa mengacu pada SNI 2833:2016. Kombinasi pembebanan yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Untuk beban operasional digunakan

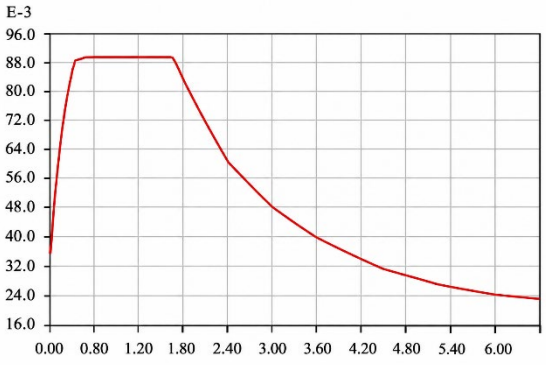
   $MS + MA + TD_{BGT}$

2. Beban Gempa

   $U1 = DL + 0{,}5LL \pm EQx \pm 0{,}3EQy$

   $U2 = DL + 0{,}5LL \pm EQy \pm 0{,}3EQx$

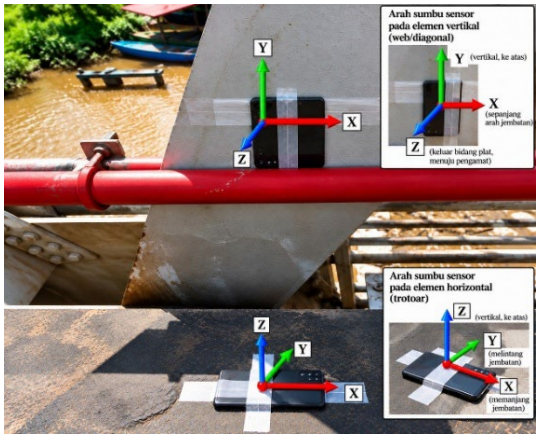
Parameter kegempaan ditentukan berdasarkan lokasi jembatan di Kabupaten Ketapang dengan Koordinat lintang: -1.793482864563658 bujur: 109.98597115607922, kelas situs tanah adalah tanah lunak, percepatan puncak batuan dasar (PGA) 0.0236 g, percepatan spektral periode pendek (S_S) 0.0584 g, percepatan spektral periode satu detik (S_1) 0.0491 g, serta parameter spektrum desain (S_{DS}) 0.09 g dan (S_{D1}) 0.14 g. Parameter tersebut digunakan untuk membentuk spektrum respons gempa seperti gambar 3 berikut.



Gambar 3. Respon spektrum gempa

Pengukuran respons dinamis jembatan dilakukan menggunakan dua perangkat *smartphone* berbasis Android yang dilengkapi sensor akselerometer internal melalui aplikasi Resonance. Pengukuran dilaksanakan secara simultan selama 120 detik pada kondisi operasional jembatan untuk memperoleh data

percepatan getaran struktur akibat aktivitas lalu lintas. Kedua perangkat ditempatkan pada titik pengamatan terpilih di sekitar tengah bentang (*midspan*), masing-masing pada elemen diagonal rangka baja dan trotoar pejalan kaki. Penentuan lokasi pengukuran mempertimbangkan konfigurasi struktur, potensi terjadinya deformasi signifikan, serta kesesuaian dengan titik evaluasi pada model numerik. Perangkat sensor dipasang menggunakan pita perekat untuk menjaga kestabilan posisi selama pengukuran, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4. Data percepatan yang diperoleh dari masing-masing sensor diolah secara terpisah melalui koreksi garis dasar dan penyaringan sinyal untuk meminimalkan pengaruh *noise* serta penyimpangan akibat proses integrasi. Selanjutnya, respons perpindahan dinamis dihitung melalui integrasi numerik ganda terhadap riwayat percepatan, dengan integrasi pertama menghasilkan kecepatan dan integrasi kedua menghasilkan perpindahan sebagai fungsi waktu. Dari kedua hasil pengukuran tersebut, data sensor yang menghasilkan amplitudo perpindahan maksimum dipilih sebagai respons kritis terukur untuk analisis lebih lanjut. Pendekatan ini digunakan untuk mengidentifikasi respons dinamis terbesar pada lokasi pengamatan selama kondisi operasional. Hasil perpindahan maksimum tersebut selanjutnya digunakan sebagai parameter evaluasi perilaku dinamis struktur dan sebagai data pendukung perbandingan dengan respons defleksi hasil pemodelan numerik, dengan mempertimbangkan kesesuaian arah pengukuran, lokasi evaluasi, dan karakteristik pembebanan.



Gambar 4. Instalasi sensor berbasis aplikasi pada *smartphone*

Evaluasi kinerja struktur dilakukan melalui perbandingan tiga parameter utama, yaitu lendutan rencana hasil analisis ETABS (δ_R), lendutan eksisting hasil pengukuran lapangan (δ_E), dan lendutan izin (δ_I),. Batas lendutan izin ditetapkan sebesar (L/800) sebagai kriteria evaluasi deformasi pelayanan, dengan mempertimbangkan kesesuaiannya terhadap jenis struktur dan kondisi pembebanan yang ditinjau. Besarnya lendutan izin dihitung menggunakan Persamaan (1).

$$\delta_I = \frac{L}{800} \tag{1}$$

dengan L merupakan panjang bentang efektif jembatan (mm). Untuk panjang bentang 48.000 mm, diperoleh batas lendutan izin sebesar 60 mm. Selanjutnya, tingkat pemanfaatan batas lendutan dihitung berdasarkan rasio lendutan rencana dan lendutan eksisting terhadap lendutan izin menggunakan Persamaan (2) dan (3).

$$R_R = \frac{|\delta_R|}{\delta_I} \tag{2}$$

$$R_E = \frac{|\delta_E|}{\delta_I} \tag{3}$$

Dengan R_R merupakan rasio lendutan rencana dan R_E merupakan rasio lendutan eksisting. Nilai rasio yang tidak melebihi 1,0 menunjukkan bahwa lendutan memenuhi batas evaluasi yang ditetapkan, sedangkan nilai rasio lebih besar dari 1,0 menunjukkan bahwa lendutan melampaui batas tersebut.

Sebagai indikator evaluasi gabungan, rasio lendutan maksimum ditentukan berdasarkan nilai terbesar antara lendutan rencana dan lendutan eksisting terhadap batas lendutan izin sebagaimana Persamaan (4).

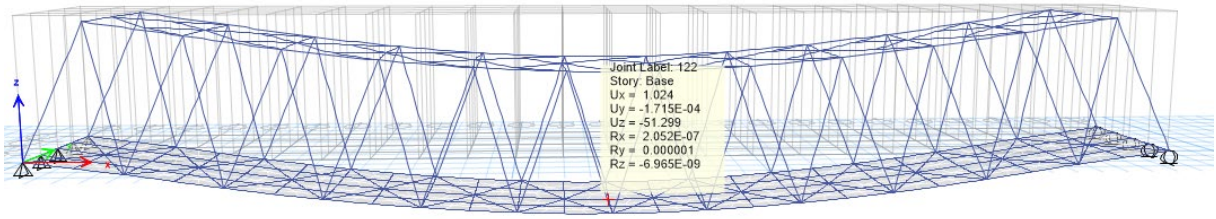
$$R_{\delta(max)} = \frac{max(|\delta_R|, |\delta_E|)}{\delta_I} \tag{4}$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

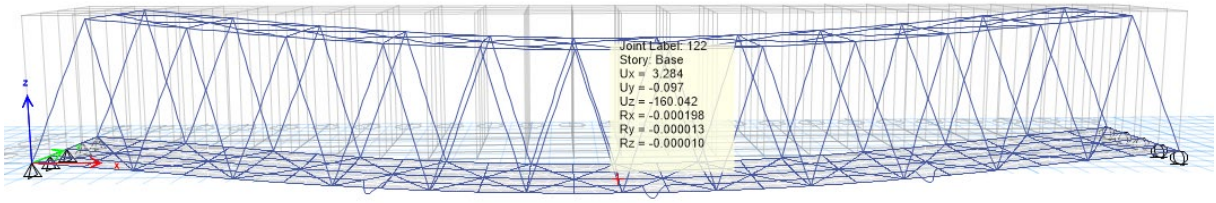
Berdasarkan hasil pemodelan struktur pada aplikasi ETABS, diketahui bahwa kombinasi beban operasional menghasilkan lendutan sebesar 51,299 mm seperti ditunjukan pada gambar 5. Sedangkan kombinasi beban gempa maksimal menghasilkan 160,042 mm (gambar 6).

Kemudian, nilai lendutan berdasarkan sensor akselerometer berbasis aplikasi resonance dan analisis menghasilkan nilai maksimum 25,2 mm.

Dibandingkan dengan lendutan izin dannilai rasio lendutan menunjukan beban operasional rencana dan eksisting masih memenuhi batas evaluasi yang ditetapkan pada persamaan (4) dan masih dalam batas aman kinerja struktur. Akan tetapi, jika diberikan beban gempa rencana sesuai peta gempa terbaru maka dapat mengakibatkan lendutan struktur melebihi lendutan izin dan berpotensi mengalami kegagalan struktur. Detail hasil analisis dapat dilihat pada Tabel 1. Hal ini memberikan gambaran besar untuk struktur jembatan rangka baja eksisting tipe *Warren Truss* yang memiliki umur layan lebih dari 30 tahun di Kabupaten Ketapang akan berpotensi mengalami kegagalan struktur jika dikenai beban gempa. Evaluasi menyeluruh dan tindakan perkuatan struktur diperlukan untuk jembatan rangka baja eksisting tipe *Warren Truss* di Kabupaten Ketapang yang merupakan penghubung utama mobilisasi jalur darat dan pendukung perekonomian masyarakat Ketapang.



Gambar 5. Model terdeformasi kombinasi beban operasional



Gambar . Model terdeformasi kombinasi beban gempa (ENV/Maksimal)

Tabel 1. Nilai dan rasio lendutan pada jembatan rangka baja Pawan 2 segmen 1

Kondisi Pembebanan	δ_R	δ_E	δ_I	$R_{\delta(max)}$
	(mm)	(mm)	(mm)	
Beban operasional	51,299	25,6	60	0,85
Beban Pengaruh Gempa	160,042		60	2,67

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa respons deformasi jembatan rangka baja eksisting tipe *Warren Truss* di Kabupaten Ketapang masih memenuhi kriteria lendutan pada kondisi operasional, tetapi melampaui batas evaluasi ketika dikenai pembebanan gempa rencana. Kondisi tersebut mengindikasikan kerentanan kinerja deformasi struktur terhadap pengaruh seismik dan perlunya evaluasi kapasitas struktural lebih lanjut. Integrasi pemodelan numerik dan pengukuran akselerometer memberikan pendekatan awal untuk mengidentifikasi respons struktur serta mendukung penentuan prioritas inspeksi dan kajian perkuatan jembatan eksisting.

Penelitian selanjutnya direkomendasikan untuk mengevaluasi kinerja seismik melalui analisis dinamis nonlinier, pemeriksaan kapasitas elemen dan sambungan, serta kalibrasi model numerik menggunakan pengukuran getaran dengan sensor terkalibrasi. Perluasan kajian pada beberapa jembatan eksisting juga diperlukan untuk mengembangkan kerangka evaluasi risiko

seismik sebagai dasar strategi pemeliharaan dan perkuatan struktur secara berkelanjutan.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Ketapang atas dukungan pendanaan dan fasilitas penelitian. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Laboratorium Teknik Sipil Politeknik Negeri Ketapang serta seluruh pihak yang telah membantu pelaksanaan pengujian dan pengumpulan data penelitian.

6. DAFTAR PUSTAKA

Aghaeidoost, V., & Billah, A. H. M. M. (2025). Seismic resilience assessment of a regional bridge network. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, Vol. 54, No. 10, Pp. 2403–2418. DOI: 10.1002/eqe.4371.

Al Hawarneh, A., & Alam, M. S. (2025). Novel time-dependent seismic fragility assessment tool for existing RC highway bridges in a multi-hazard environment considering regular maintenance. Engineering Structures, Vol. 330, Article 119868. DOI: 10.1016/j.engstruct.2025.119868.

Badan Standardisasi Nasional. (2016). SNI 1725:2016: Pembebanan untuk Jembatan. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.

Badan Standardisasi Nasional. (2016). SNI 2833:2016: Perencanaan Jembatan terhadap Beban Gempa. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.

Du, A., Wang, X., Xie, Y., & Dong, Y. (2023). Regional seismic risk and resilience assessment: Methodological development, applicability, and future research needs—An earthquake engineering perspective. Reliability Engineering & System Safety, Vol. 233, Article 109104. DOI: 10.1016/j.ress.2023.109104.

Irsyam, M., Cummins, P. R., Asrurifak, M., Faizal, L., Natawidjaja, D. H., Widiyantoro, S., Meilano, I., Triyoso, W., Rudiyanto, A., Hidayati, S., Ridwan, M., Hanifa, N. R., & Syahbana, A. J. (2020). Development of the 2017 national seismic hazard maps of Indonesia. Earthquake Spectra, Vol. 36, No. 1S, Pp. 112–136. DOI: 10.1177/8755293020951206.

Nettis, A., Raffaele, D., & Uva, G. (2024). Seismic risk-informed prioritisation of multi-span RC girder bridges considering knowledge-based uncertainty. Bulletin of Earthquake Engineering, Vol. 22, Pp. 693–729. DOI: 10.1007/s10518-023-01783-y.

Ning, C., Xie, Y., Burton, H., & Padgett, J. E. (2024). Enabling efficient regional seismic fragility assessment of multi-component bridge portfolios through Gaussian process regression and active learning. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, Vol. 53, No. 9, Pp. 2929–2949. DOI: 10.1002/eqe.4144.

Opabola, E. A., & Mangalathu, S. (2023). Seismic fragility assessment of bridges with as-built and retrofitted splice-deficient columns. Bulletin of Earthquake Engineering, Vol. 21, Pp. 583–603. DOI: 10.1007/s10518-022-01521-w.

Pinto, F., Astroza, R., Pizarro, A., Bazáez, R., & Hernández, F. (2024). Seismic fragility analysis of simply supported bridges considering uncertainty in scour condition. Structures, Vol. 64, Article 106570. DOI: 10.1016/j.istruc.2024.106570.

Pusat Studi Gempa Nasional (PuSGeN). (2017). Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Bandung.

Pusat Studi Gempa Nasional (PuSGeN). (2025). Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2024. Kementerian Pekerjaan Umum, Indonesia.

Putranto, A., Faisal, M. H., Ismah, J. N., & Rayani, A. D. (2026). Evaluation of structural dynamic parameters of the old truss bridges using smartphone-embedded sensors. International Journal of Research in Vocational Studies (IJRVOCAS), 5(4), 08–13. doi:10.53893/ijrvocas.v5i4.484

Sabara, A. I. R., & Imran, I. (2024). Bridge capacity assessment through LRFR method and bridge seismic performance evaluation using the PBSD concept: Case study. Journal of Engineering and Technological Sciences, Vol. 56, No. 1, Pp. 11–24. DOI: 10.5614/j.eng.technol.sci.2024.56.1.2.

Song, S., Xie, Y., Wang, Y., Zhang, W., Kurtulus, A., Memisoglu Apaydin, N., & Taciroglu, E. (2024). Seismic fragility and vulnerability assessment of a multi-span irregular curved bridge under spatially varying ground motions. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 180, Article 108585. DOI: 10.1016/j.soildyn.2024.108585.

Yuliastuti, Y., Meilano, I., Puspito, N. T., Susilo, S., & Setyadji, A. B. (2026). Seismicity-rate estimation based on geodetic strain rates from continuous GNSS observations in Kalimantan, Indonesia. Earth, Planets and Space, Vol. 78, Article 89. DOI: 10.1186/s40623-026-02392-0.

Zhong, J., Zhou, S., Wang, H., & Hu, H. (2024). Regional seismic fragility of bridge network derived by covariance matrix model of bridge portfolios. Engineering Structures, Vol. 309, Article 118035. DOI: 10.1016/j.engstruct.2024.118035