



STUDI LITERATUR: PENGARUH GEMPA TERHADAP JEMBATAN

**Ainil Mardhiyah¹, Johannes Tarigan², & Ernie Shinta Yosephine
Sitanggang³*

^{1,2}*Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Indonesia*

³*Program Studi Perancangan Jalan dan Jembatan, Politeknik Negeri Medan, Indonesia*

*E-mail: *ainilmardhiyah.1109@gmail.com, johannes.tarigan@usu.ac.id,
erniesitanggang@polmed.ac.id*

Abstrak: Studi Literatur: Pengaruh Gempa Terhadap Jembatan. Kerusakan jembatan akibat gempa bumi menghasilkan kerusakan fisik dan efek ekonomi terhadap sistem transportasi. Faktor gempa bumi dalam memberikan efek kerusakan pada gempa dipengaruhi pula dengan variabel-variabel lainnya, diantaranya Metode, Bentuk Gelagar, Bahan Jembatan, Bentuk dan Panjang Bentang, serta Panjang Total Jembatan. Tujuan penelitian ini adalah untuk melihat perbedaan yang signifikan berdasarkan kriteria yang digunakan oleh penelitian sebelumnya melalui studi literatur hasil penelitian. Dalam penelitian ini akan dijabarkan, hasil-hasil penelitian yang dilakukan oleh peneliti sebelumnya yang dibagi berdasarkan enam variabel penelitian. Metode penelitian yang digunakan adalah metode kualitatif deskriptif. Tahapan penelitian ini dimulai dari pemilihan topik tujuan, mencari dan memilih artikel yang sesuai, menganalisis dan mensintesis literatur, serta mengorganisasikan penulisan argument. Berdasarkan studi literatur yang dilakukan pada keenam variabel penelitian, penjabaran terlengkap mengenai pengaruh gempa terhadap jembatan dijelaskan melalui variabel metode penelitian, bagian-bagian jembatan yang paling menerima pengaruh gempa adalah pilar serta gelagar jembatan. Hasil penelitian ini memberikan informasi bahwa terdapat variabel lainnya yang belum dijabarkan secara rinci sejauh apa pengaruhnya terhadap kerusakan jembatan sebagai akibat dari terjadinya gempa bumi. Merujuk hasil penelitian ini, maka analisis terhadap variabel lainnya sangat dibutuhkan dan berpotensi untuk memberikan hasil dan sudut pandang yang berbeda terkait faktor yang mempengaruhi kerusakan jembatan akibat gempa bumi.

Kata kunci: Gelagar; Gempa Bumi; Jembatan; Kerusakan; Pilar

Abstract: Literature Study: Effect of Earthquake on Bridges. Damage to bridges during earthquakes results in physical damage and economic effects on the transportation system. The earthquake factor in giving the effect of damage to the earthquake is also influenced by other variables, including the method, the shape of the girder, the bridge material, the shape and length of the span, and the total length of the bridge. The purpose of this study was to see significant differences based on the criteria used by previous studies through a literature study of research results. In this study, the results of research conducted by previous researchers are divided based on six research variables. The research method used is descriptive qualitative method. The stages of this research start from selecting the topic of interest, finding and selecting appropriate articles, analyzing and synthesizing literature, and organizing argument writing. Based on the literature study conducted on the six research variables, the most complete description of the effect of the earthquake on the bridge is explained through the variables of the research method, the parts of the bridge that are most affected by the earthquake are the pillars and bridge girders. The results of this study provide information that there are other variables that have not been described in detail to what extent they affect bridge damage as a result of the earthquake. Referring to the results of this study, analysis of other variables is needed and has the potential to provide different results and perspectives regarding the factors that affect bridge damage due to earthquakes.

Keywords: Beam; Earthquake; Bridge; Damage; Pier

History & License of Article Publication:**Received:** 01/06/2022 **Revision:** 20/06/2022 **Published:** 27/06/2022DOI: <https://doi.org/10.37971/radial.v10i1.269>This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).**PENDAHULUAN**

Dewasa ini, jembatan yang dulunya hanya dipakai untuk menghubungkan dua tempat terpisah dengan jarak yang relatif pendek, kini dapat menghubungkan tempat terpisah pada jarak yang berjauhan bahkan sampai menyeberangi laut. Dengan semakin meningkatnya teknologi dan fasilitas pendukung seperti komputer, bentangan bukan merupakan kendala lagi. Selain itu, jembatan yang merupakan bagian dari prasarana transportasi yang berfungsi sebagai penghubung antara jalan yang terputus oleh rintangan seperti sungai, danau, lereng, laut dan rel kereta api yang tidak melintasi permukaan apapun kini tidak hanya terletak di permukaan tanah saja. Akibat terlalu panjangnya jembatan, sekarang ini jembatan dapat pula terletak di dalam lautan.

Dari segi perkonomian, jembatan dapat mengurangi biaya transportasi. Dan dari segi efisiensi waktu, dengan adanya jembatan dapat mempersingkat waktu tempuh pada perjalanan darat yang saling terpisah. Jembatan juga dapat meningkatkan daerah tertinggal untuk dapat lebih berhubungan dengan daerah lain dengan mudah. Selain itu, dengan adanya jembatan infrastruktur-infrastruktur yang terdapat di daerah tersebut juga akan semakin berkembang (Arifin et al., 2018; Totoiya, 2019).

Pada awalnya, manusia mengklasifikasikan lima jenis jembatan: balok, kantilever, lengkungan, suspensi, dan rangka, dan empat jenis pertama diilhami oleh kehidupan sebelum Masehi. Pengilhaman jembatan balok diambil dari pemakaian batang pohon yang tumbang yang melintas di atas sungai, yang kemudian berkembang dengan menggunakan batu alam sebagai jembatannya. Setelahnya, prinsip-prinsip kantilever diterapkan untuk bentang panjang yang terletak pada kedua ujung jembatan. Sedangkan pengilhaman jembatan gantung diambil dari akar-akar pohon yang bergantung dan digunakan oleh manusia serta hewan untuk lewat di atas sungai dari satu pohon ke pohon lainnya.

Berdasarkan periodenya, pada periode zaman purba, jenis-jenis jembatan yang telah digunakan terdiri dari jenis jembatan balok, gantung, kantilever, serta pelengkung yang bentuk dan materialnya masih relatif sederhana dan alami. Pada periode romawi kuno, jembatan-jembatan yang dibangun telah menggunakan bahan berupa kayu, batu, serta beton. Selain itu, bentang-bentang yang digunakan juga lebih panjang dibandingkan periode sebelumnya. Pada zama pertengahan, perkembangan jembatan hanya terlihat berbeda dalam segi pengembangan teknik serta estetikanya. Pada zaman besi dan baja, awalnya konstruksi jembatan masih meniru konstruksi jembatan batu dan masih menggunakan prinsip-prinsip bentuk lengkung.

Seiring berkembangnya revolusi industri, konstruksi jembatan semakin berkembang. Seperti terlihat pada era jembatan gantung dan jembatan kabel. Prinsip jembatan gantung tidak begitu berbeda dengan prinsip yang ada pada zaman purba. Hanya saja, bahan yang digunakan sudah menggunakan besi dan baja. Perkembangan jembatan

kabel didorong dengan penemuan baja yang memiliki kekuatan tinggi dan kemajuan teknik pengelasan.

Era jembatan beton merupakan era perkembangan terakhir dari jembatan. Era ini didorong oleh industri semen portland yang berkembang pesat dan mendominasi konstruksi-konstruksi terutama jembatan. Awalnya prinsip yang digunakan masih menggunakan prinsip jembatan lengkung. Seiring perkembangan, prinsip jembatan mulai berubah menggunakan prinsip slab dan gelagar dan memiliki bentang-bentang yang panjang.

Indonesia merupakan negara yang tergolong rawan bencana alam, hal ini terkait dengan letak geografis Indonesia yang berada di antara dua samudera besar dan berada pada kisaran lempeng tektonik. Letak Indonesia yang berada di daerah lempeng tektonik atau ring of fire, artinya Indonesia rawan gempa dan dapat menimbulkan tsunami. Cincin api ini menjelaskan hubungan aktivitas vulkanik yang membentang dari Indonesia hingga Jepang dan berlanjut dari Alaska melalui Amerika Serikat bagian barat hingga Amerika Selatan. Lingkaran api disebut juga lingkaran magma besar dan ukuran Indonesia adalah puncak lingkaran api. Pergerakan lempeng tektonik menyebabkan terbentuknya jalur gempa, beberapa gunung berapi aktif dan patahan geologi yang rawan gempa dan tsunami.

Gempa bumi merupakan suatu peristiwa pelepasan energi gelombang seismik yang terjadi secara tiba-tiba yang ditandai dengan bergetarnya bumi yang terjadi pada lokasi tertentu dan tidak memiliki sifat berkelanjutan. Gempa bumi dapat terjadi dikarenakan adanya runtuh, pergeseran lempeng bumi (tektonik), aktivitas gunung berapi (vulkanik), ledakan, jatuhnya, serta buatan manusia. Gempa bumi dapat terjadi di daratan maupun lautan. Selain itu, pusat kedalaman gempa bumi dapat berasal dari lokasi yang dalam, menengah, bahkan dangkal.

Untuk mengukur besaran gempa yang terjadi digunakan skala intensitas dan magnitudo (Hartuti, 2009; Siswanto & Salim, 2018). Besaran gempa yang terjadi dapat ditentukan dengan menggunakan magnitudo, intensitas, serta seismisitas (Pawirodikromo, 2012). Namun, besaran yang banyak digunakan yaitu skala richter, skala modified mercalli intensity (MII), dan skala peak ground acceleration (PGA) (Suharjanto, 2013).

Gaya gempa mengakibatkan terjadinya gerakan gempa arah vertikal dan gerakan gempa arah horizontal pada struktur. Nod-nod pada massa struktur akan muncul akibat arah-arah gerakan tersebut. Namun diantara kedua arah tersebut, perubahan gaya gravitasi yang timbul pada struktur paling sedikit diakibatkan oleh gerakan gempa arah vertikal. Hal ini dikarenakan, gerakan gempa arah vertikal bekerja pada nod-nod kuat pada struktur yang pada dasarnya dalam perancangan struktur gaya vertikal memiliki tingkat keamanan yang mencukupi. Sedangkan gerakan gempa arah horizontal, menimbulkan perubahan gaya gravitasi yang cukup besar pada struktur karena gerakan gempa arah horizontal bekerja pada nod-nod lemah pada struktur dan kekuatan struktur pada arah tersebut tidak mencukupi pada saat perancangannya.

Meskipun Indonesia berada dalam kawasan rawan gempa, namun masih banyak bangunan dan infrastruktur lainnya yang runtuh sebagian atau seluruhnya akibat dampak yang timbul karena gempa bumi sehingga terjadinya kegagalan struktur (Trumansyahjaya, 2013). Kerusakan jembatan selama gempa bumi dapat mengakibatkan kerusakan fisik dan efek ekonomi terhadap sistem transportasi. Dampak kerusakan infrastruktur jalan raya dan jembatan akibat gempa bumi meliputi retakan sambungan ekspansi, perpindahan bantalan,

pengurangan operasi jembatan, retak geser penyangga, hingga jembatan ambruk. Untuk menghindari ambruknya jembatan secara tiba-tiba, diperlukan inspeksi rutin untuk menentukan nilai kapasitas yang ada. Kekuatan struktur jembatan eksisting akan dievaluasi berdasarkan kekuatan gempa, yang terjadi dalam skala yang lebih besar dari tahun-tahun sebelumnya.

Kesalahan konstruksi dan konstruksi jembatan dapat diketahui secara sistematis melalui kerusakan akibat gempa. Pengalaman dan pengetahuan tentang kerusakan jembatan gempa sangat berharga dan meningkatkan teori dan metode desain seismik yang ada. Dalam perkuatan jembatan, estimasi kerugian ekonomi dan evaluasi kinerja jembatan setelah gempa sebagai komponen jembatan diperlukan investigasi kinerja seismik. Fenomena dan penyebab kerusakan jembatan dianalisis dan tindakan pencegahan yang tepat disarankan dari perspektif yang berbeda.

Kerusakan jembatan yang diakibatkan gempa sudah banyak ditemui di Indonesia. Seperti gempa yang terjadi di Gunung Sitoli pada tahun 2005. Gempa berkekuatan 8,7 SR yang terjadi pada 28 Maret 2005 pukul 23.09 WIB tersebut menyebabkan enam jembatan terputus (Naryanto, 2005). Selain itu, gempa berkekuatan 7,4 SR yang terjadi di Palu pada tanggal 28 September 2018 mengakibatkan enam jembatan hancur (Reuters & Perawongmetha, 2018). Salah satu jembatan yang hancur akibat gempa ini adalah jembatan lengkung pertama di Indonesia yaitu Jembatan Palu IV atau Jembatan Ponulele.

Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) mengatakan gempa Ambon dengan magnitudo 6,8 pada tanggal 26 September 2019 pukul 06.46 WIB memiliki intensitas maksimum VII-VI MMI menyebabkan jembatan dan bangunan di sana mengalami kerusakan (Astuti, 2019; Hantoro, 2019; Ramadhan, 2019). Gempa berkekuatan 6,2 magnitudo yang terjadi di Sulawesi Barat pada Jumat, 15 Januari 2021 pada dini hari mengakibatkan sebuah jembatan terbelah dua dengan aliran air yang deras (Fatiara, 2021). Sebuah jembatan di Desa Pasipalele mengalami kerusakan akibat gempabumi tektonik berkekuatan 7,2 SR yang terjadi pada Minggu, 14 Juli 2019 (Redaksi, 2019). Satu jembatan yang menghubungkan masyarakat di Kembong Tanjung, antara Ule Glee dan Jeumeurang ambrol terputus akibat gempa bumi yang terjadi dan berpusat di Pidie Jaya pada Rabu pagi tanggal 7 Desember 2016 (Amrullah, 2016).

Bukan hanya di Indonesia, menjabarkan gempa Northridge 1994 di Amerika Serikat, Gempa Kobe 1995 di Jepang, dan Wenchuan 2005 Gempa di China juga mengakibatkan rusaknya jembatan (Cao et al., 2020). Akibat rusaknya jembatan yang berfungsi sebagai sarana transportasi akan memblokir lalu lintas dan bahkan mempengaruhi penyelamatan dan rekonstruksi setelah bencana. Di China sendiri, bukan hanya Gempa Wenchuan yang mengakibatkan jembatan rusak, tetapi Gempa Tangshan dan Gempa Yunnan juga mengakibatkan jembatan mengalami kerusakan. Sebagian besar jembatan yang hancur dalam gempa Tangshan tidak memiliki benteng seismik, tetapi jembatan yang rusak akibat gempa Wenchuan didukung oleh berbagai benteng seismik.

Dari fenomena-fenomena yang pernah terjadi tersebut, terbukti bahwa sangat penting untuk mengetahui pengaruh gempa terhadap jembatan. Penelitian-penelitian dilakukan untuk meninjau, apakah ada pengaruh yang terjadi pada jembatan-jembatan yang ada sekarang saat menerima gaya gempa. Penelitian-penelitian yang pernah dilakukan, bukan hanya pada jembatan yang berfungsi sebagai jembatan jalan raya, jembatan kereta

api cepat juga dapat ditinjau. Selain dari fungsinya, jembatan yang ditinjau bukan hanya dari satu jenis jembatan, tapi dari berbagai jenis jembatan dengan berbagai macam panjang bentang dan juga panjang total jembatan. Penelitian-penelitian yang dilakukan juga bukan hanya menggunakan satu metode, tetapi berbagai metode dengan hasil dan penjabaran yang berbeda.

Dalam penelitian ini akan dijabarkan, hasil-hasil penelitian yang dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya yang dibagi berdasarkan metode penelitian yang digunakan, bentuk gelagar yang diteliti, bahan jembatan yang diteliti, bentuk bentang yang diteliti, panjang bentang yang diteliti, dan juga panjang total jembatan yang diteliti. Tujuan penelitian ini adalah untuk melihat perbedaan yang signifikan berdasarkan kriteria yang digunakan oleh penelitian sebelumnya melalui studi literatur hasil penelitian. Apakah ada perbedaan yang signifikan berdasarkan kriteria sebelumnya atau tidak. Apakah kriteria dari penelitian-penelitian sebelumnya perlu dilakukan penelitian ulang dengan kriteria yang berbeda. Namun, dalam penelitian ini, besar dan intensitas gempa yang terjadi pada penelitian-penelitian sebelumnya tidak menjadi faktor yang mempengaruhi.

METODE

Metode penelitian yang digunakan adalah metode kualitatif deskriptif. Metode kualitatif adalah suatu metode untuk menangani kualitas informasi. Metode kualitatif berusaha memahami akar penyebab dan motif dibalik tindakan dan untuk menetapkan bagaimana orang menafsirkan pengalaman mereka dan dunia di sekitar mereka serta memberikan informasi tentang pemecahan masalah, menghasilkan pendapat dan/atau hipotesis (MacDonald & Headlam, 2011). Metode kualitatif dirancang untuk kebutuhan berbagai topik seperti wawancara kualitatif, kelompok fokus, analisis pendapat dan percakapan, dan analisis teks dan dokumentasi (Walliman, 2011). Penelitian deskriptif dirancang untuk menggambarkan fenomena dan karakteristik dari penelitian tersebut (Nassaji, 2015). Dan penelitian deskriptif menggunakan korelasional, desain pengembangan, studi observasional, dan penelitian survei serta juga dapat digunakan dalam eksperimen dan penelitian kausal komparatif hingga tingkat yang bervariasi (Williams, 2007).

Kualitatif deskriptif adalah metode penelitian yang dikutip secara luas yang telah menjadi metode yang penting dan berlaku untuk semua pertanyaan penelitian yang berfokus pada pengungkapan individu, isi, dan lokasi peristiwa atau pengalaman, dan memperoleh informasi tentang fenomena yang kurang dikenal dari sisi peneliti (Kim et al., 2016). Dari metode penelitian yaitu kualitatif deskriptif, dipilih jenis penelitian studi literatur dalam pengerjaannya. Studi literatur adalah cara terbaik untuk mensintesis hasil penelitian dalam bentuk artikel ilmiah, dokumen, dan sumber daya lain yang terkait dengan masalah tertentu, bidang penelitian, atau teori, sehingga dapat memberikan deskripsi, abstrak, dan evaluasi kritis dari karya-karya tersebut. Mendemonstrasikan bukti meta-level, membuat pernyataan tentang fenomena tertentu yang diketahui dan tidak diketahui, mengungkapkan area untuk penelitian lebih lanjut, dan menjawab pertanyaan yang belum terselesaikan adalah bagian penting dari kerangka teoritis dan konstruksi konseptual. Langkah-langkah dalam proses studi literatur yang terdiri dari: 1). Memilih topik tinjauan;

2). Mencari dan memilih artikel yang sesuai; 3). Analisis dan sintesis literatur; dan 4). Organisasi penulisan argumen (Ramdhani et al., 2014).

Dalam penelitian ini, subjek penelitian yang digunakan adalah artikel yang diterbitkan melalui jurnal, pertemuan, maupun prosiding. Artikel yang dipilih dapat berbahasa Inggris maupun bahasa Indonesia, dapat berasal dari Indonesia maupun luar Indonesia, dan dapat terdiri dari satu penulis maupun lebih yang berasal dari satu negara ataupun lebih. Artikel yang digunakan terdiri dari 12 artikel berbahasa Inggris dan tiga artikel berbahasa Indonesia. Penulis berasal dari China, Jepang, USA, Italia, Australia, Spanyol, Republik San Marino, Malaysia, Vietnam, Iran, dan Indonesia. Tidak ada batasan jenis jembatan yang digunakan, panjang bentang jembatan, panjang jembatan, metode yang digunakan, maupun bahan dari jembatan yang diteliti.

Semua data dari 15 makalah diambil dan diteliti. Semua informasi yang relevan dari setiap artikel kemudian diringkas, dikodekan, dan dianalisis seperti pada Tabel 1. Variabel yang diambil untuk penelitian ini diantaranya adalah metode yang digunakan, bentuk gelagar, bahan jembatan, bentuk bentang, panjang bentang, serta panjang total jembatan. Setiap variabel tersebut diberikan kode yang sesuai. Variabel metode yang digunakan dikodekan sebagai M, bentuk gelagar dikodekan sebagai BG, bahan jembatan dikodekan sebagai BJ, bentuk bentang dikodekan sebagai BB, panjang bentang dikodekan sebagai PB, dan panjang total jembatan dikodekan sebagai PTJ. Makalah-makalah yang diteliti tidak memiliki semua variabel yang diteliti. Terdapat satu makalah yang memiliki lima variabel, enam makalah yang memiliki empat variabel, lima makalah yang memiliki tiga variabel, dua makalah yang memiliki dua variabel, dan satu makalah yang hanya memiliki satu variabel di dalamnya.

Tabel 1. Variabel Penelitian pada Tiap Artikel

PA \ VP	M	BG	BJ	BB	PB	PTJ
Kang et al.; China, Australia (2017)	√	√	√			
Hu et al.; China (2019)	√		√		√	√
Gonzalez et al.; Spanyol, Italia, Republik San Marino (2020)		√	√		√	
Lavorato et al.; Italia, China (2018)					√	√
Ghazali et al.; Malaysia (2019)	√	√	√			
Tran et al.; Vietnam (2020)	√	√	√		√	√
Lupoi et al.; Italia (2004)		√	√	√	√	
Linzell & Nadakuditi; USA (2011)	√	√	√	√		
Minavand & Ghafory-Ashtiany; Iran (2019)	√	√	√	√		
Wu & Najjar; USA (2007)		√	√	√		
Caterino et al.; Italia (2014)	√	√	√	√		
Borijigin et al.; Jepang (2018)	√		√	√		
Syafirra et al.; Indonesia (2018)	√		√			

Kristin et al.; Indonesia (2018)	√			
Albar et al.; Indonesia (2020)	√	√	√	√

Catatan: VP = Variabel Penelitian; PA = Penulis Artikel

Sumber: Data pribadi

Pada variabel metode yang digunakan (M), penelitian diberi kode sebagai Metode Elemen Hingga (FEM), Analisa Riwayat Waktu, dan Analisa Perpindahan Struktur (Defisiensi Struktural) berdasarkan bagaimana penelitian dianalisis. Berdasarkan pengkodean ini, terdapat 6 dari 15 artikel yang menggunakan Metode Elemen Hingga, 3 dari 15 artikel yang menggunakan Analisa Riwayat Waktu, dan 2 dari 15 penelitian menggunakan Analisa Perpindahan Struktur, sedangkan sisanya tidak masuk dalam variabel ini. Pada variabel bentuk gelagar (BG), penelitian diberi kode sebagai Gelagar Kotak dan Gelagar I. Berdasarkan pengkodean ini, terdapat 7 dari 15 penelitian menggunakan Gelagar Kotak dan 3 dari 15 penelitian menggunakan Gelagar I. sedangkan sisanya tidak masuk dalam variabel ini. Pada variabel bentuk bentang (BB), penelitian diberi kode sebagai Jembatan Baja dan Jembatan Beton. Berdasarkan pengkodean ini, terdapat 6 dari 15 penelitian menggunakan Jembatan Baja dan 7 dari 15 penelitian menggunakan Jembatan Beton. Sedangkan sisanya tidak masuk dalam variabel ini.

Pada variabel panjang bentang (PB), penelitian diberi kode sebagai Jembatan dengan Panjang Bentang 25 m dan Jembatan dengan Panjang Bentang 50 m. Berdasarkan pengkodean ini, terdapat 3 dari 16 penelitian yang menggunakan Jembatan dengan Panjang Bentang 25 m dan 4 dari 16 penelitian yang menggunakan Jembatan dengan Panjang Bentang 50 m. Sedangkan sisanya tidak masuk dalam variabel ini. Dan pada variabel panjang total jembatan (PTB), penelitian diberi kode sebagai Jembatan dengan Panjang Total Jembatan 100 m yang terdiri dari 3 dari 16 artikel sedangkan sisanya tidak masuk dalam variabel ini. Dari keenam variabel yang akan dijadikan patokan analisis, terdapat satu artikel penelitian yang memiliki satu patokan variabel penelitian, dua artikel penelitian yang memiliki dua patokan variabel penelitian, enam artikel penelitian yang memiliki tiga patokan variabel penelitian, enam artikel penelitian yang memiliki empat patokan variabel penelitian, dan satu artikel penelitian yang memiliki lima patokan variabel penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Hasil penelitian dibagi berdasarkan variabel-variabel penelitian. Variabel metode yang digunakan, bentuk gelagar, bahan jembatan, bentuk bentang, panjang bentang, dan panjang total jembatan diimplementasikan sesuai dengan yang dimiliki pada makalah yang diteliti.

Metode yang Digunakan (M)

Pada variabel metode yang digunakan (M), terdapat 6 penelitian yang menggunakan Metode Elemen Hingga (MEH), 3 penelitian yang menggunakan Analisis Riwayat Waktu, dan 2 penelitian yang menggunakan Analisa Perpindahan Struktur (Defisiensi Struktural) seperti terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Metode yang Digunakan (M)

PA	M	MEH	ARW	APS
Kang et al.; China, Australia (2017)		√		
Hu et al.; China (2019)		√		
Ghazali et al.; Malaysia (2019)		√		
Tran et al.; Vietnam (2020)		√		
Linzell & Nadakuditi; USA (2011)		√		
Minavand & Ghafory-Ashtiany; Iran (2019)			√	
Caterino et al.; Italia (2014)				√
Borijigin et al.; Jepang (2018)		√		
Syafirra et al.; Indonesia (2018)			√	
Kristin et al.; Indonesia (2018)			√	
Albar et al.; Indonesia (2020)				√

Catatan: MEH = Metode Elemen Hingga; ARW = Analisa Riwayat Waktu; APS = Analisa Perpindahan Struktur

Sumber: Data pribadi

Hasil penelitian menggunakan Metode Elemen Hingga menunjukkan bahwa tiang geser, slide dan lapisan CA, serta bantalan tidak mengalami kerusakan meskipun menerima pengaruh gempa yang cukup besar sedangkan tulangan geser sangat mudah hancur meskipun pengaruh gempa yang diberikan tidak cukup besar. Hal yang berbeda dihasilkan dari penelitian lain yang menunjukkan bahwa bantalan sangat dipengaruhi oleh pengaruh gempa. Selain itu, akibat pengaruh gempa, abutmen mengalami kegagalan akibat terjadinya gaya hentakan yang kuat. Hal yang sama juga terjadi pada gelagar jembatan yang mengalami perpindahan setelah menerima pengaruh gempa dan pilar jembatan yang mengalami respon yang besar hingga kegagalan.

Hasil penelitian menggunakan Analisa Riwayat Waktu menunjukkan bahwa pengaruh gempa pada jembatan terletak pada gelagar, dek, dan pilar jembatan. Penurunan kemampuan pada ketiga bagian jembatan tersebut terjadi akibat adanya pengaruh gempa yang diterima.

Sedangkan hasil penelitian menggunakan Analisa Perpindahan Struktur (Defisiensi Struktural), dek, pilar, abutmen, gelagar, bantalan, serta peredam adalah bagian-jembatan yang menerima pengaruh gempa. Bagian-bagian jembatan tersebut mengalami perpindahan atau pergeseran tempat yang diakibatkan adanya pengaruh gempa.

Bentuk Gelagar (BG)

Pada variabel bentuk gelagar (BG) menunjukkan bahwa penelitian lebih banyak dilakukan pada gelagar yang berbentuk kotak dibandingkan gelagar berbentuk I. Penelitian yang menggunakan gelagar kotak terdiri dari 7 penelitian sedangkan gelagar yang berbentuk I hanya 3 penelitian. Hal tersebut dapat dilihat seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Bentuk Gelagar (BG)

PA	BG	Gelagar Kotak	Gelagar I
	Kang et al.; China, Australia (2017)	√	
	Gonzalez et al.; Spanyol, Italia, Republik San Marino (2020)		√
	Ghazali et al.; Malaysia (2019)	√	
	Tran et al.; Vietnam (2020)	√	
	Lupoi et al.; Italia (2004)	√	
	Linzell & Nadakuditi; USA (2011)		√
	Minavand & Ghafory-Ashtiany; Iran (2019)	√	
	Wu & Najjar; USA (2007)	√	
	Caterino et al.; Italia (2014)	√	
	Albar et al.; Indonesia (2020)		√

Sumber: Data pribadi

Pada penelitian yang dilakukan pada gelagar kotak, menunjukkan bahwa pengaruh gempa yang ditim-bulkan cukup besar terjadi. Hal-hal yang terjadi akibat pengaruh gempa ini terdiri dari menurunnya kemampuan gelagar tersebut, mulai dari tegangan, gaya aksial, gaya geser, momen lentur, hingga torsi pada gelagar. Selain itu, akibat pengaruh gempa, gelagar juga mengalami perpindahan yang mengakibatkan dek menjadi miring. Pada penelitian yang dilakukan pada gelagar ber-bentuk I, gelagar sangat dipengaruhi oleh pengaruh gempa dan membuat gelagar mengalami penurunan kekuatan seperti gaya aksial, gaya geser, dan gaya dalam momen serta mengalami perpindahan. Namun sebaliknya, pengaruh gempa tidak begitu besar mempengaruhi gelagar jika pondasi yang digunakan pada jembatan tersebut adalah pondasi miring.

Bahan Jembatan (BJ)

Pada variabel bahan jembatan (BJ) menunjukkan bahwa penelitian yang dilakukan berdasarkan bahan jembatan sama banyaknya antara jembatan yang berbahan beton dan jembatan yang berbahan baja. Hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 4. Namun, berdasarkan variabel ini, penelitian-penelitian tidak memaparkan secara jelas pengaruh gempa terkait bahan dari jembatan tersebut.

Tabel 4. Bahan Jembatan (BJ)

PA	BJ	Jembatan Baja	Jembatan Beton
	Kang et al.; China, Australia (2017)		√
	Hu et al.; China (2019)		√
	Gonzalez et al.; Spanyol, Italia, Republik San Marino	√	

(2020)		
Ghazali et al.; Malaysia (2019)		√
Tran et al.; Vietnam (2020)	√	
Lupoi et al.; Italia (2004)		√
Linzell & Nadakuditi; USA (2011)	√	
Minavand & Ghafory-Ashtiany; Iran (2019)		√
Wu & Najjar; USA (2007)	√	
Caterino et al.; Italia (2014)		√
Borijigin et al.; Jepang (2018)	√	
Syafirra et al.; Indonesia (2018)	√	
Albar et al.; Indonesia (2020)		√

Sumber: Data pribadi

Bentuk Bentang (BB)

Pada variabel bentuk bentang dapat dilihat bahwa, penelitian menggunakan bentuk bentang melengkung lebih banyak dilakukan dibandingkan penelitian menggunakan bentang menerus. Seperti dipaparkan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Bentuk Bentang (BB)

PA	BB	Menerus	Melengkung
Lupoi et al.; Italia (2004)		√	
Linzell & Nadakuditi; USA (2011)			√
Minavand & Ghafory-Ashtiany; Iran (2019)			√
Wu & Najjar; USA (2007)			√
Caterino et al.; Italia (2014)		√	
Borijigin et al.; Jepang (2018)		√	

Sumber: Data pribadi

Hasil penelitian yang dilakukan berdasarkan bentuk bentang menerus, dapat terlihat bahwa jembatan menerus yang dalam satu penelitian dikaitkan dengan respon yang ditimbulkan akibat adanya kendaraan yang melintas, membuat pengaruh gempa yang diterima jembatan dihilangkan dan dihamburkan sehingga perpindahan yang terjadi pada bantalan jembatan lebih kecil jika dibandingkan dengan tidak adanya respon yang ditimbulkan akibat adanya kendaraan yang melintas.

Sedangkan pada penelitian yang dilakukan pada bentang melengkung, diperoleh hasil penelitian berupa adanya pengaruh yang besar yang terjadi pada gelagar. Dengan bentuk bentang yang melengkung mengakibatkan meningkatnya ketidakteraturan, gaya geser, momen lentur, perpindahan di pilar, serta torsi. Namun, di penelitian lain menunjukkan bahwa bentuk bentang melengkung tidak memiliki pengaruh apapun bahkan dapat diabaikan ketika jembatan menerima pengaruh gempa. Sedangkan di penelitian lainnya menunjukkan bahwa bentuk bentang melengkung menghasilkan hasil yang memuaskan ketika jembatan menerima pengaruh gempa.

Panjang Bentang (PB)

Pada variabel panjang bentang (PB) dapat terlihat bahwa penelitian menggunakan bentang dengan panjang 50 m lebih banyak dilakukan dibandingkan dengan penelitian menggunakan bentang dengan panjang 25 m. hal tersebut ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Panjang bentang (PB)

PA	PB	25 m	50 m
Hu et al.; China (2019)		√	
Gonzalez et al.; Spanyol, Italia, Republik San Marino (2020)		√	√
Lavorato et al.; Italia, China (2018)			√
Tran et al.; Vietnam (2020)			√
Lupoi et al.; Italia (2004)			√
Albar et al.; Indonesia (2020)		√	

Sumber: Data pribadi

Pada penelitian dengan panjang bentang 25 m, karena adanya pengaruh gempa, bentang mengalami perpindahan. Sedangkan di penelitian lain, bentang yang merupakan bagian dari superstruktur jembatan, menghasilkan pengaruh yang kurang menonjolkan yang diakibatkan bentuk pondasi yang miring. Pada penelitian dengan panjang bentang 50 m, bentang mengalami perpindahan yang memiliki besar yang cukup signifikan. Hal ini dipertegas pada penelitian lainnya yang menjelaskan bahwa jembatan yang memiliki bentang yang panjang memiliki tingkat kerentanan yang tidak ketika menerima pengaruh gempa.

Panjang Total Jembatan (PTJ)

Pada variabel panjang total jembatan (PTJ) dapat dilihat bahwa ada tiga penelitian yang dalam penelitiannya menggunakan jembatan dengan panjang total jembatan 100 m. seperti yang terlihat pada Tabel 7. Dari ketiga penelitian tersebut, hanya satu penelitian yang mengungkapkan hasil secara lengkap pengaruh gempa yang terjadi pada jembatan dengan panjang total jembatan 100 m, yaitu semakin panjang sebuah jembatan maka semakin rentan pula jembatan tersebut ketika menerima pengaruh gempa. Sedangkan dua penelitian lainnya, pengaruh panjang total jembatan tidak dijelaskan secara lengkap.

Tabel 7. Panjang total jembatan (PTJ)

Panjang Total Jembatan 100 m
Hu et al.; China (2019)
Lavorato et al.; Italia, China (2018)
Tran et al.; Vietnam (2020)

Sumber: Data pribadi

Pembahasan

Dari hasil penelitian di atas, dapat terlihat bahwa pengaruh gempa terhadap variabel-variabel penelitian memiliki pengaruh yang berbeda-beda. Selain itu, pengaruh gempa yang didasarkan pada variabel-variabel penelitian di atas juga akan memberikan hasil yang berbeda pada setiap penelitian. Seperti pada variabel panjang bentang (PB) yang memiliki bentang 25 m, meskipun variabel yang diteliti sama namun hasil yang ditunjukkan berbeda. Hal yang sama juga terlihat pada variabel bentuk gelagar (BG). Variabel bentuk gelagar (BG) dengan gelagar melengkung menghasilkan dua kesimpulan yang berbeda dari tiga peneliti.

Meskipun begitu, variabel-variabel penelitian tersebut dapat digunakan sebagai petunjuk pengaruh gempa terhadap jembatan. Hasil yang berbeda antar peneliti tersebut menunjukkan bahwa ada variabel lain ataupun adanya hubungan dengan variabel lain yang akan mempengaruhi hasil dari pengaruh gempa. Sehingga, meskipun variabel yang ditinjau sama, hasil yang ditunjukkan akan berbeda.

KESIMPULAN

Berdasarkan variabel metode penelitian, bagian-bagian jembatan yang paling banyak menerima pengaruh gempa adalah pilar serta gelagar jembatan. Akibat adanya pengaruh gempa, kedua bagian jembatan ini mengalami tingkat penurunan kekuatan hingga kegagalan paling besar di antara bagian-bagian jembatan lainnya. Dari variabel bentuk gelagar, pengaruh yang paling menonjol terjadi pada gelagar adalah penurunan kekuatan. Namun, beberapa penelitian tidak merincikan secara jelas pengaruh yang terjadi pada gelagar jika bentuk gelagar merupakan poin penelitian utama. Variabel bahan jembatan tidak menunjukkan adanya penjelasan yang sesuai dengan poin bahan jembatan yang menjelaskan pengaruh gempa terhadap jembatan.

Dilihat dari variabel bentuk bentang, jembatan dengan bentuk bentang menerus tidak dijadikan patokan utama dalam beberapa penelitian. Dan bentuk bentang melengkung, memiliki hasil penelitian yang tidak konsisten saat menerima pengaruh gempa. Sedangkan dari variabel panjang bentang, dapat dilihat bahwa, beberapa penelitian tidak memaparkan secara lengkap pengaruh yang ditimbulkan akibat jembatan yang memiliki panjang bentang tertentu. Dan berdasarkan variabel panjang total jembatan, pengaruh gempa terhadap variabel ini tidak terlalu dijelaskan. Penelitian yang menyertakan hasil ini tidak cukup untuk memastikan pengaruh gempa terhadap variabel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Albar, M. G., Struktur, R., Prategang, J., Akibat, O., Gempa, P., Albar, M. G., & Simatupang, P. H. (2020). Respon Struktur Jembatan Prategang Oelaikbesi Akibat Pengaruh Gempa. In *Jurnal Teknik Sipil: Vol. IX* (Issue 2).
- Amrullah, A. (2016). *Akibat Gempa, Sebuah Jembatan di Kabupaten Pidie Ambruk*. <https://www.republika.co.id>
- Arifin, S. S., Syukri, M. R., & Utama, K. A. (2018). Analisis Kebutuhan Infrastruktur Hijau di Kota Gorontalo. *RADIAL –JuRnal PerADaban SaIns, RekayAsa Dan TeknoLogi*, 6(1), 9–13. <https://doi.org/10.37971/radial.v6i1.159>
- Astuti, N. A. R. (2019). *Dampak Gempa M 6,8 di Ambon, Jembatan Retak-Kampus Rusak Ringan*. <https://news.detik.com>
- Borijigin, S., Kim, C.-W., Chang, K.-C., & Sugiura, K. (2018). Nonlinear Dynamic

- Response Analysis of Vehicle–Bridge Interactive System Under Strong Earthquakes. *Journal of Engineering Structures*, 176, 500–521. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.09.014>
- Cao, Y., Liang, Y., Huai, C., Yang, J., & Mao, R. (2020). Seismic Fragility Analysis of Multispan Continuous Girder Bridges with Varying Pier Heights considering Their Bond-Slip Behavior. *Journal of Advances in Civil Engineering*, 2020, 8869921. <https://doi.org/10.1155/2020/8869921>
- Caterino, N., Maddaloni, G., & Occhiuzzi, A. (2014). Damage Analysis and Seismic Retrofitting of a Continuous Prestressed Reinforced Concrete Bridge. *Journal of Case Studies in Structural Engineering*, 2(1), 9–15. <https://doi.org/10.1016/j.csse.2014.06.001>
- Fatiara, N. (2021). *Video: Jembatan hingga Bangunan Ambruk Akibat Gempa 6,2 M di Majene*. <https://kumparan.com>
- Ghazali, A., Al-Haris Alaydrus, H., Alih, S. C., & Vafaei, M. (2019). Seismic fragility of concrete box girder bridges in Malaysia. *10th Asia Pacific Structural Engineering and Construction Conference*, 513(1), 012019. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/513/1/012019>
- Gonzalez, F., Carbonari, S., Padron, L. A., Morici, M., Aznarez, J. J., Dezi, F., Maeso, O., & Leoni, G. (2020). Benefits of Inclined Pile Foundations in Earthquake Resistant Design of Bridges. *Engineering Structures*, 203, 109873. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.109873>
- Hantoro. (2019). *Bangunan hingga Jembatan di Ambon Rusak Akibat Gempa M 6,8*. <https://nasional.okezone.com>
- Hartuti, E. R. (2009). *Buku Pintar Gempa*. DNA Press.
- Hu, M., Han, Q., Wen, J., & Bai, Y. (2019). Seismic Failure of Multi-Span Simply Supported RC Slab-on-Girder Bridge in 2008 Wenchuan Earthquake: Case Study. *Engineering Failure Analysis*, 95, 140–153. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2018.09.011>
- Kang, X., Jiang, L., Bai, Y., & Caprani, C. C. (2017). Seismic damage evaluation of high-speed railway bridge components under different intensities of earthquake excitations. *Engineering Structures*, 152, 116–128. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.08.057>
- Kim, H., Sefcik, J. S., & Bradway, C. (2016). Characteristics of Qualitative Descriptive Studies: A Systematic Review. *Journal of Research in Nursing & Health*, 40(1), 23–42. <https://doi.org/10.1002/nur.21768>
- Kristin, N. V., Wibowo, A., Setyowulan, D., & S., E. W. (2018). Pengaruh Gempa Terhadap Perilaku Jembatan Cable Stayed Tengku Fisabililah Riau Dengan Time History Analysis. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 12(2), 142–148.
- Lavorato, D., Fiorentino, G., Bergami, A. V., Briseghella, B., Nuti, C., Santini, S., & Vanzi, I. (2018). Asynchronous Earthquake Strong Motion and RC Bridges Response. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 5(6), 454–466. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2018.06.001>
- Linzell, D. G., & Nadakuditi, V. P. (2011). Parameters Influencing Seismic Response of Horizontally Curved, Steel, I-Girder Bridges. *Steel and Composite Structures*, 11(1), 21–38. <https://doi.org/10.12989/scs.2011.11.1.021>
- Lupoi, G., Franchin, P., Lupoi, A., & Pinto, P. E. (2004). Seismic Fragility Analysis of Structural System. *13th World Conference on Earthquake Engineering*, 4008. [https://doi.org/\(ASCE\)0733-9399\(2006\)132:4\(385\)](https://doi.org/(ASCE)0733-9399(2006)132:4(385))
- MacDonald, S., & Headlam, N. (2011). *Research Methods Handbook*. Centre for Local Economic Strategies (CLES).

- Minavand, M., & Ghafory-Ashtiany, M. (2019). Seismic Evaluation of Horizontally Curved Bridges Subjected to Near-Field Ground Motions. *Latin American Journal of Solids and Structures*, 16(2), 1–15. <https://doi.org/10.1590/1679-78255438>
- Naryanto, H. S. (2005). Zonasi Kerusakan, Analisis Kegempaan dan Mitigasi Bencana Pasca Gempa Nias, Sumatra Utara 28 Maret 2005. *Alami: Jurnal Teknologi Reduksi Risiko Bencana*, 10(2).
- Nassaji, H. (2015). Qualitative and Descriptive Research: Data Type Versus Data Analysis. *Journal of Language Teaching Research*, 19(2), 129–132. <https://doi.org/10.1177/1362168815572747>
- Pawirodikromo, W. (2012). *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan*. Pustaka Pelajar.
- Ramadhan, A. (2019). *Jembatan dan Bangunan Rusak Akibat Gempa Ambon*. <https://kalsel.antaranews.com>
- Ramdhani, A., Ramdhani, M. A., & Amin, A. S. (2014). Writing a Literature Review Research Paper: A step-by-Step Approach, *Journal of Basic and Applied Science. International Journal of Basic and Applied Science*, 3(1), 47–56.
- Redaksi. (2019). *Ini Desa Yang Mengalami Kerusakan Akibat Gempa 7,2 SR*. <https://indotimur.com>
- Reuters, & Perawongmetha. (2018). *Jembatan Lengkung Ke-3 di Dunia Ini Rusak Akibat Gempa Palu*. <https://www.cnbcindonesia.com>
- Siswanto, A. B., & Salim, M. A. (2018). *Rekayasa Gempa*. K-Media.
- Suharjanto. (2013). *Rekayasa Gempa (Dilengkapi dengan Analisis Beban Gempa Sesuai SNI-03-1726-2002)*. Kepel Press.
- Syafirra, S., Susanti, L., & Wijaya, M. N. (2018). Efek Beban Gempa Dua Arah dan Tiga Arah Terhadap Kapasitas Struktur Jembatan Warren. *Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil*, 1(2), 626–640.
- Totoiya, I. W. (2019). Perancangan Kawasan Terpadu di Kecamatan Tomilito dengan Konsep Organisme. *RADIAL –JuRnal PerADaban SaIns, RekayAsa Dan TeknoLogi*, 7(1), 103–117. <https://doi.org/10.37971/radial.v7i1.188>
- Tran, N. L., Nguyen, T. H., Phan, V. T., & Nguyen, D. D. (2020). Seismic Fragility Analysis of Reinforced Concrete Piers of Steel Box Girder Bridges: A Parametric Study. *Materials Today: Proceedings*, 38, 2310–2315. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.414>
- Trumansyahjaya, K. (2013). Penilaian Terhadap Keandalan Bangunan Gedung pada Bangunan Gedung di Universitas Negeri Gorontalo. *RADIAL –JuRnal PerADaban SaIns, RekayAsa Dan TeknoLogi*, 1(2), 137–149. <https://doi.org/10.37971/radial.v1i2.35>
- Walliman, N. (2011). *Research Methods the Basics* (1st ed.). e-Library.
- Williams, C. (2007). Research Methods. *Journal of Business & Economic Research*, 5(3), 65–72. <https://doi.org/10.19030/jber.v5i3.2532>
- Wu, H., & Najjar, W. S. (2007). Parametric Seismic Analysis of Curved Steel Box Girder Bridges with Two Continuous Spans. *Jurnal Bridge Structure*, 3(3–4), 205–213. <https://doi.org/10.1080/15732480701511989>