

**STUDI KERUSAKAN STRUKTUR JEMBATAN BERDASARKAN NILAI *PSEUDO*
SPECTRAL ACCELERATION (PSA)
(STUDI KASUS PADA JEMBATAN PLOSO JOMBANG)**

Sayyidati Nurhanifah¹, Anis Rakhmawati², Dedy Firmansyah³

Jurnal Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tidar

Jl. Kapten Supratman 39 Potrobangsari, Magelang Utara, Magelang, Jawa Tengah 56116

Email : sayyidati.nurhanifah26@gmail.com

ABSTRAK

Komponen utama jembatan terdiri dari struktur timbunan jalan pendekat jembatan, bangunan bawah jembatan dan bangunan atas jembatan yang menjadi kesatuan. Studi ini hanya dilakukan untuk mencari tahu kerusakan pada struktur atas Jembatan Ploso Jombang melalui respon spektrum dinamik struktur. Beban yang diperhitungkan dalam analisis struktur adalah beban gempa, beban akibat berat sendiri dari jembatan, dan beban hidup dari lalu lintas. Pembebanan jembatan berdasarkan BMS (*Bridge Management System*) 1992 *Bridge Design Code* Vol. 1.

Analisis dinamis struktur jembatan dengan melakukan pembebanan dinamis respon spektrum, beban angin, faktor redaman, beban hidup dari lalu lintas. Dalam hal ini beban gempa diaplikasikan pada arah sumbu-x dan arah sumbu-y. Selanjutnya akan didapatkan besarnya gaya dalam yang terjadi pada struktur jembatan, kemudian dilakukan analisis respon spektrum sehingga diketahui nilai *Pseudo Spectral Acceleration* (PSA) baik saat kondisi normal maupun kondisi terdapat kerusakan. Kedua kondisi tersebut nantinya digunakan untuk membandingkan grafik nilai PSA yang akan ditampilkan dalam bentuk grafik.

Hasil analisis pada penelitian ini adalah jembatan masih dalam kondisi baik dan layak fungsi. Kemudian kerusakan yang terjadi akibat pengaruh gempa menghasilkan nilai PSA pada titik joint 1 dengan nilai 40213,661 mm/sec². Dari hasil tersebut maka terdapat solusi yaitu penambahan faktor redaman berupa alat damper yang sesuai dengan kondisi maupun jenis bangunan yaitu LUD (*Lock Up Device*).

ABSTRACT

*The main components of the bridge consist of the structure of the road embankment approaching the bridge, the bridge under the bridge and the superstructure of the bridge which become a unit. This study was only conducted to find out the damage to the superstructure of the Ploso Jombang Bridge through the dynamic response spectrum of the structure. The loads that are taken into account in the structural analysis are earthquake loads, self-weight loads from the bridge, and live loads from traffic. Bridge loading based on BMS (*Bridge Management System*) 1992 *Bridge Design Code* Vol. 1.*

*Dynamic analysis of the bridge structure by carrying out dynamic loading of the response spectrum, wind load, damping factor, live load of traffic. In this case the earthquake load is applied in the x-axis direction and the y-axis direction. Furthermore, the magnitude of the internal forces that occur in the bridge structure will be obtained, then an analysis of the response spectrum will be carried out so that the *Pseudo Spectral Acceleration* (PSA) value is known both under normal conditions and when there is damage. These two conditions will later be used to compare the PSA value graph which will be displayed in graphical form.*

ISSN:2747-1217

The results of the analysis in this study are the bridge is still in good condition and functional. Then the damage that occurred due to the influence of the earthquake resulted in the PSA value at the joint 1 point with a value of 40213.661 mm/sec². From these results, there is a solution, namely the addition of a damping factor in the form of a damper in accordance with the conditions and types of buildings, namely LUD (Lock Up Device).

A. PENDAHULUAN

Jembatan menjadi salah satu infrastruktur yang mempengaruhi perkembangan perekonomian suatu negara. Penurunan kondisi jembatan dapat disebabkan oleh kondisi lingkungan, penambahan umur, maupun beban operasionalnya. Dengan begitu fungsi jembatan itu sendiri akan mengalami penurunan sesuai dengan penurunan kondisi jembatan tersebut. Maka suatu jembatan memerlukan pemeliharaan yang rutin, perbaikan atau rehabilitasi, dan penggantian untuk mempertahankan fungsi dari jembatan tersebut [1]

Pada proses pemeliharaan jembatan rangka baja di Indonesia, terdapat berbagai jenis *monitoring* pada kelayakan strukturnya. Pemeriksaan tersebut terdiri dari pemeriksaan inventaris, pemeriksaan detail, dan pemeriksaan secara khusus. Pengumpulan data-data berupa data administrasi, geometri, material, lokasi jembatan, panjang bentang, jenis konstruksi pada tiap bentang, dan data tambahan yang lain merupakan pemeriksaan inventarisasi. Lalu perolehan nilai kondisi jembatan tersebut didapatkan dari nilai kondisi pada tiap elemen jembatan. [2]

Telah dikembangkan suatu metode identifikasi kerusakan struktur pada beberapa tahun terakhir yaitu menggunakan karakteristik dinamis

struktur. Metode pemeriksaan ini digunakan pada pemeriksaan struktur yang tidak mengalami kerusakan atau disebut dengan *Non-Destructive Testing* (NDT). Kerusakan struktur dapat teridentifikasi dan lokasi kerusakannya dapat diestimasi dengan pemeriksaan menggunakan data karakteristik dinamis struktur yang telah terjadi kerusakan pada elemennya. Metode untuk mendeteksi kerusakan struktur jembatan yang menggunakan spektrum dari respon dinamik struktur akibat beban yang melewati jembatan dapat dilakukan dengan menggunakan Nilai *Pseudo Spectral Acceleration* (PSA) yang dihitung dengan persamaan. Sehingga penelitian yang menggunakan metode tersebut dilaksanakan untuk mendeteksi kerusakan pada struktur jembatan rangka baja pada jembatan yang

diteliti. [3]

Jembatan Ploso Jombang terletak di wilayah Kecamatan Ploso Kabupaten Jombang yang dibangun diatas sungai Brantas. Jembatan ini merupakan akses penghubung antara beberapa daerah seperti Mojokerto, Kediri, Babat, Nganjuk, Lamongan, dan Bojonegoro. Selain itu jembatan ini juga menjadi salah satu akses yang menghubungkan wilayah jombang utara dengan jombang bagian selatan karena dipisahkan oleh sungai Brantas yang merupakan sungai terpanjang di Jawa Timur. Kontur tanah yang tidak rata, volume kendaraan yang sangat tinggi, ditambah lagi dengan posisi jembatan yang terlalu tegak lurus membuat beberapa kendaraan kesulitan untuk menyeberang di jembatan Ploso, hal ini sering membuat terjadinya kemacetan di daerah itu. Oleh karena itu perlu dilakukan sebuah studi mengenai kelayakan pada Jembatan

Ploso Jombang, apakah pada struktur jembatan tersebut sudah mengalami kerusakan atau tidak. Dengan begitu akan muncul sebuah solusi penanganan yang perlu dilakukan pada Jembatan Ploso Jombang.

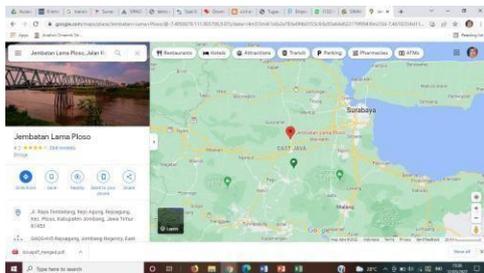
1217

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kondisi struktur atas jembatan Ploso Jombang serta mengetahui kerusakan yang terjadi akibat pengaruh gempa berdasarkan BMS (*Bridge Management System*) 1992 *Bridge Design Code* Vol. 1.

Sehingga didapatkan solusi yang tepat apabila terjadi kerusakan pada struktur atas jembatan tersebut.

B. METODE

Pengumpulan data dilakukan dengan cara pengambilan data dari Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga Provinsi Jawa Timur berupa data dimensi jembatan, data pembebanan, jenis material dan data tanah serta pengumpulan peraturan yang terkait dengan penelitian.



Gambar 1 Lokasi Jembatan

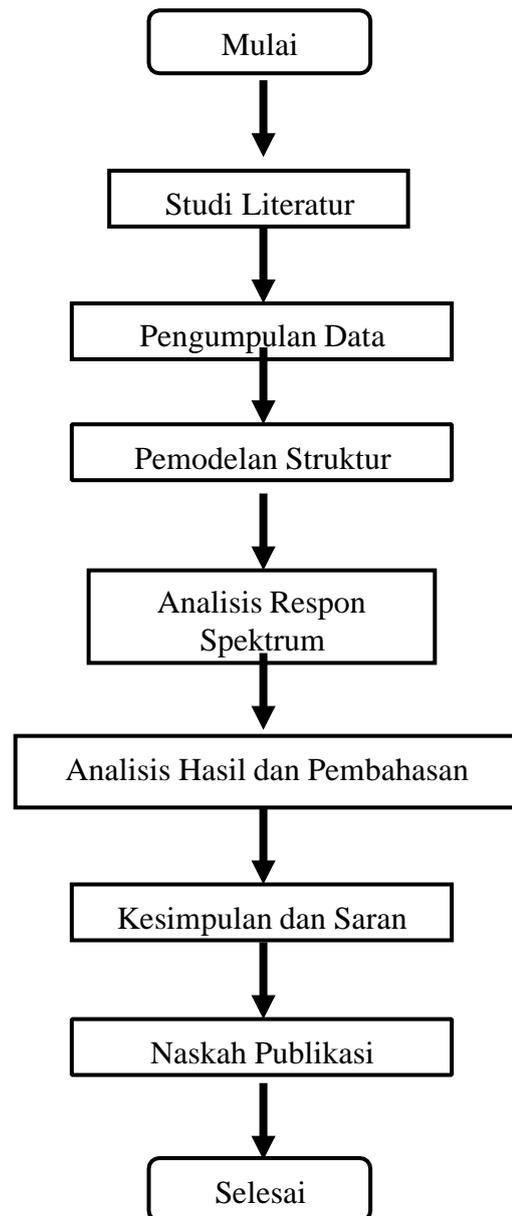
Pada penelitian ini menggunakan dua sumber data yaitu data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh dari pemeriksaan detail jembatan melalui formulir pemeriksaan detail jembatan. Sedangkan untuk data sekunder merupakan data yang diperoleh dari Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga

Provinsi Jawa Timur yang meliputi data dimensi jembatan, data pembebanan, jenis material dan data tanah.

Beberapa alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu formulir
-ISSN:2747-

pemeriksaan detail jembatan, laptop, serta alat tulis.

Berikut merupakan diagram alir penelitian yang dilakukan.



Gambar 2 Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Kondisi Struktur Jembatan Ploso

Jombang

Berdasarkan hasil pemeriksaan jembatan menggugurkan formulir pemeriksaan detail jembatan, kondisi jembatan ploso masih dalam kondisi baik dan layak fungsi. Tindakan darurat yang perlu dilakukan yaitu pada elemen pilar, kepala jembatan, dan pelat lantai. Pada pilar (P1), pile baja sudah tidak dalam kapasitas dukungan maksimum. Kepala jembatan (A2) sudah mengalami banyak keretakan, serta pelat lantai (B2) telah mengalami perlemahan.

Struktur Bangunan Atas Jembatan

dan dibangun pada tahun 1969-1988. Hasil perhitungan beban tersebut di *input* ke dalam SAP2000 kemudian dilakukan analisis.

2. Kerusakan yang Terjadi Pada Struktur Atas Jembatan Ploso

Pada analisis respon spektrum perlu adanya input getaran dari struktur yang diteliti. Untuk perhitungannya menggunakan persamaan seperti berikut ini :

1. Pada struktur dengan satu derajat kebebasan, persamaan geraknya dapat dituliskan sebagai berikut (Wilson, 1981) :

$$\ddot{y}(t) + 2\zeta\omega\dot{y}(t) + \omega^2y(t) = f(t) \dots \dots \dots (3.1)$$

-ISSN:2747-

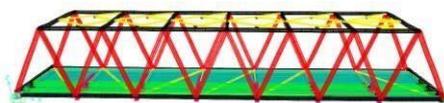
Ploso menggunakan Rangka Baja Transfield adalah displacement, $\dot{y}(t)$ adalah kecepatan, $\ddot{y}(t)$ adalah percepatan, jembatan ini disesuaikan dengan standar oleh Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah Direktorat Prasarana Wilayah Direktorat Bina Teknik dari Bagian Proyek Penyiapan Standar dan Pedoman Teknik Jalan dan Jembatan tahun 2004. Berikut hasil pemodelan struktur jembatan secara lah.faktor.redaman, rangka baja bangunan atas jembatan kelas B

2. $y(t)$ adalah displacement, $\dot{y}(t)$ adalah kecepatan, $\ddot{y}(t)$ adalah percepatan, jembatan ini disesuaikan dengan standar oleh Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah Direktorat Prasarana Wilayah Direktorat Bina Teknik dari Bagian Proyek Penyiapan Standar dan Pedoman Teknik Jalan dan Jembatan tahun 2004. Berikut hasil pemodelan struktur jembatan secara lah.faktor.redaman, rangka baja bangunan atas jembatan kelas B

$$f(t)_T = \ddot{y}(t) + f(t) \dots \dots \dots (3.2)$$

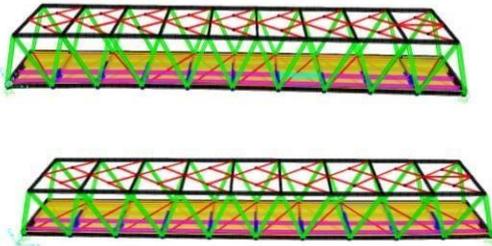
3. Persamaan (3.1) dapat diselesaikan. ω adalah frekuensi angular, dan ζ adalah

3D.



dengan melakukan substitusi ke dalam persamaan (3.2) menjadi persamaan berikut :

$$f(t)_T = -\omega^2y(t) - 2\zeta\omega\dot{y}(t) \dots \dots \dots (3.3)$$



Gambar 3 Pemodelan Struktur Jembatan

Ploso 3D

Setelah melakukan pemodelan struktur jembatan yaitu menghitung beban- beban yang bekerja pada struktur jembatan. Perhitungan beban menggunakan pedoman dari BMS 1992 dengan beban 70% karena jembatan ploso merupakan jembatan kelas B

4. Jika nilai redaman sangat kecil, maka formula pada persamaan (3.3) dapat diabaikan dan total percepatan sistem sama dengan $\omega^2 y(t)$. Maka respons dari gerakan akibat beban kendaraan, $S(\omega)$ dapat ditulis menjadi :

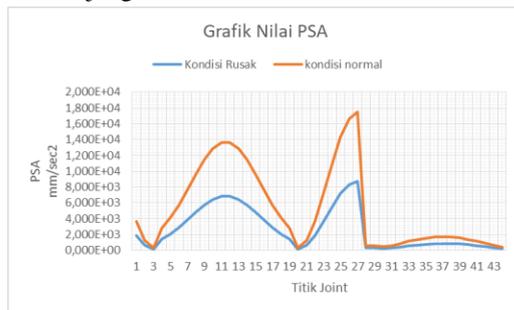
$$S(\omega) = \omega^2 y(\omega)_{MAX} \dots \dots \dots$$

(3.4)

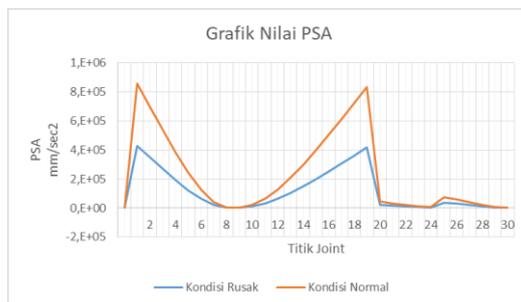
$S(\omega)$ adalah pseudo-spektrum percepatan (*Pseudo Spectral Acceleration* – PSA). Pada penelitian ini, $S(\omega)$ digunakan sebagai parameter indikasi kerusakan pada struktur.

Kemudian, perhitungan dari persamaan-persamaan di atas dilakukan menggunakan *microsoft excel* dan hasilnya ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik. Data yang diperlukan dalam perhitungan

diambil dari pemodelan jembatan yang dilakukan di SAP2000. Perhitungan terfokus pada objek berupa gelagar memanjang atau arah X dan diambil



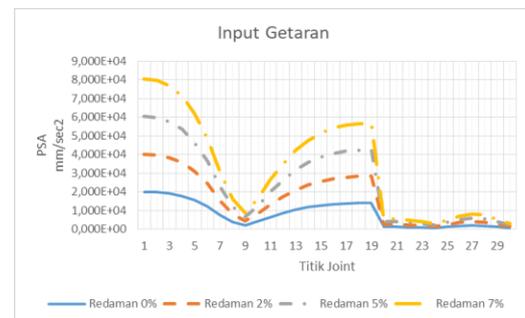
Gambar 4 Nilai puncak (maksimum) PSA pada titik joint struktur jembatan Ploso Jombang Arah X



sejumlah 30 titik joint.

Gambar 5 Nilai puncak (maksimum) PSA pada titik joint struktur jembatan Ploso Jombang Arah Y

Pada analisis yang dilakukan dengan simulasi kerusakan serta penggunaan faktor redaman yang berbeda mendapatkan hasil yang berbeda juga. Hal ini terlihat dengan perhitungan menggunakan faktor redaman yang berbeda dan akan ditampilkan hasilnya berupa grafik dibawah ini.



Gambar 7 Input Getaran dengan Faktor Redaman yang berbeda

Dari grafik di atas dapat diketahui lokasi titik joint yang terdapat nilai puncak (maksimum) PSA. Kemudian dari grafik tersebut juga dapat diketahui adanya perbedaan atau tidak antara nilai PSA

kondisi normal dengan nilai PSA kondisi rusak serta dapat menunjukkan lokasi kerusakannya berdasarkan perubahan nilai PSA tersebut.

sebesar 10% dari kondisi normalnya, menghasilkan grafik sebagai berikut.

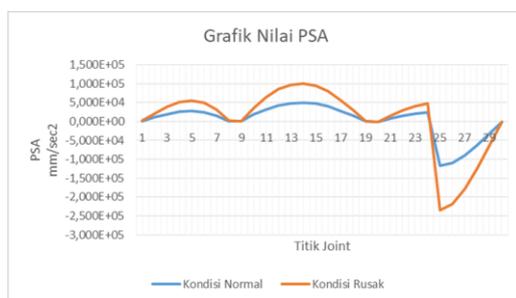
Gambar 8 Nilai puncak (maksimum) Pada Kondisi Normal dan Kondisi Rusak Akibat Gempa Arah X

Dari gambar 8 di atas terlihat perubahan nilai PSA antara kondisi normal dengan kondisi rusak. Perubahan pada titik joint yang dibuat lokasi kerusakannya tidak menunjukkan perubahan yang signifikan. Tetapi mempengaruhi titik joint yang lain sehingga terdapat perubahan yang signifikan.

3. Solusi yang Dapat Diterapkan

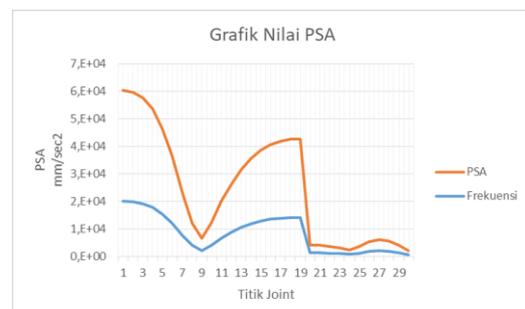
Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, maka dapat diketahui solusi dari kerusakan yang dimodelkan pada struktur atas jembatan ploslo jombang yaitu dengan menambahkan faktor redaman. Karena sesuai dengan hasil yang ditampilkan pada gambar 4.15 yaitu berupa

Pada gambar 7 di atas terlihat perbedaan mulai dari faktor redaman 0%, faktor redaman 2%, faktor redaman 5%, dan faktor redaman 7%. Hal ini membuktikan bahwa semakin besar faktor redamannya maka semakin bagus juga untuk kekuatan struktur jembatan apabila terjadi gempa. Berdasarkan analisis yang



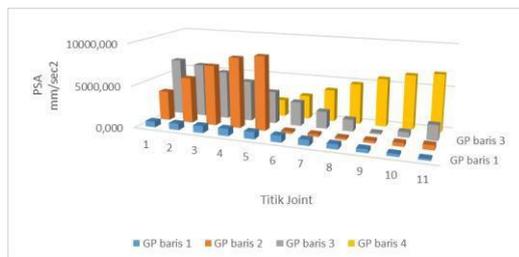
Gambar 6 Nilai puncak (maksimum) PSA pada titik joint struktur jembatan Ploslo Jombang Arah Z

dilakukan pada kondisi rusak yaitu dengan pengurangan luasan penampang di bentang II

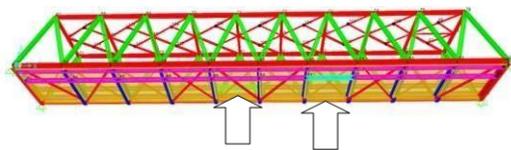


input getaran yang ditinjau dari faktor redaman dengan nilai yang tidak sama.

Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa semakin besar faktor redamannya maka semakin tinggi nilai getaran yang dihasilkan apabila terjadi gempa.



Gambar 9 Diagram pemodelan kerusakan



Gambar 4.18 Lokasi Kerusakan yang Dimodelkan Pada Bentang II Struktur Atas Jembatan Ploso Jombang

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, maka dapat diketahui solusi dari kerusakan yang dimodelkan pada struktur atas jembatan ploso jombang yaitu dengan menambahkan faktor redaman. Karena sesuai dengan hasil yang

ditampilkan pada gambar 4.15 yaitu berupa input getaran yang ditinjau dari faktor redaman dengan nilai yang tidak sama. Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa semakin besar faktor redamannya maka semakin tinggi nilai getaran yang dihasilkan apabila terjadi gempa.

Faktor redaman yang dibutuhkan dalam simulasi kerusakan pada jembatan Ploso yaitu berupa pemasangan alat peredam gempa. LUD (*Lock Up Device*) sebagai alat peredam gempa pada jembatan dapat memberikan hubungan



kaku antara dek jembatan dengan pilar jembatan. Beban yang cepat dan dalam durasi pendek yang diakibatkan gaya rem, tabrakan, maupun gempa akan disalurkan ke perletakan. LUD ini dipasang di pertemuan antara tiang jembatan dan segmen jembatan.

Gambar 10 Lokasi LUD yang Dimodelkan Pada Bentang II Struktur Atas Jembatan Ploso Jombang

Ketika terjadi gempa atau getaran kendaraan dengan muatan berat, bantalan *damper* pada LUD dapat mengunci getaran tersebut sehingga semua bagian jembatan dapat mengikuti pergerakan secara serentak.

Untuk merawat LUD ini diperlukan pergantian cairan LUD (gel silikon) setiap 25 tahun, cairan LUD ini yang berfungsi sebagai bantalan *damper*.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan pada struktur atas jembatan Ploso Jombang, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan formulir pemeriksaan kondisi jembatan, didapatkan hasil bahwa struktur atas jembatan dalam kondisi baik dan layak fungsi. Namun tetap memerlukan pemeriksaan secara rutin.
2. Keadaan Struktur Jembatan akibat pengaruh gempa yaitu :
 - a. Nilai perpindahan terbesar arah X yaitu terdapat pada joint 19 dengan nilai 1,613 mm. Kemudian nilai perpindahan terbesar arah Y terdapat pada joint 19 dengan nilai 163,355 mm. Lalu untuk arah Z, nilai perpindahan terbesar terdapat pada joint 20 dengan nilai 31,056 mm.
 - b. Nilai puncak (maksimum) PSA berada pada titik joint 1. Hal ini berdasarkan hasil analisis respon

spektrum yang telah dilakukan dengan perbandingan antara kondisi normal dan kondisi jembatan yang dimodelkan terjadi kerusakan menghasilkan nilai PSA pada titik joint 1 dengan nilai sebesar 40213,677 mm/sec² pada kondisi awal dan 40213,661 mm/sec² pada kondisi akibat pengaruh gempa.

3. Setelah dilakukan percobaan dengan berbagai faktor redaman dengan nilai yang berbeda, diperoleh hasil bahwa semakin besar faktor redamannya maka semakin tinggi input getarannya. Sehingga penambahan faktor redaman ini bisa menjadi solusi apabila memang terjadi kerusakan pada struktur atas jembatan. Perlu dicek juga seismic buffer yang terdapat pada jembatan itu sendiri untuk mengetahui ketahanannya. Faktor redaman berupa alat damper yang sesuai dengan kondisi maupun jenis bangunan yaitu LUD (Lock Up Device) yang sesuai diterapkan pada Jembatan Ploso.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Apriani, W., dkk., 2018, "Penilaian Kondisi Jembatan Rangka Baja di Riau dengan Metode *Bridge Manajement System*", Vol.4, No.2 Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lancang Kuning, Pekanbaru.2016.

- [2] BMS, 1992, *Bridge Design Code* Vol. 1, *Bridge Management System*, Jakarta: Dinas Pekerjaan Umum.
- [3] Fatharani, M., F., Sumargo., 2020, "Evaluasi Kondisi dan Perhitungan Umur Sisa Jembatan Teluk Dalam Kepulauan Riau Berdasarkan Metode *Bridge Management System* 1992", Vol.2, No.1 E-ISSN: 2715-7296, Magister Terapan Rekayasa Infrastruktur Polban, Bandung.
- [4] Hadi, 2003, "Pengembangan Metode Penilaian Kondisi Jembatan Kereta Api dengan Menggunakan Model Indeks Kondisi", Program Magister Teknik Sipil ITB, Bandung.
- [5] Harywijaya, W., dkk., 2020, "Penilaian Kondisi Jembatan Menggunakan *Bridge Management System* (BMS) dan *Bridge Condition Rating* (BCR)", E-ISSN : 2615-1340; P-ISSN : 2620-7567, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh.
- [6] Herry, dkk., 2015, "Penilaian Kondisi Jembatan Rangka Baja di Kabupaten Sintang Menggunakan Metode *Bridge Management System* (BMS) (Studi Kasus Jembatan Kapuas III, Kabupaten Sintang)", Vol.7, No. 3, Sintang.
- [7] Indrianto, H., dkk., 2017, "Analisa Perilaku Dinamik Struktur Atas Jembatan Mahakam IV MYC Samarinda", Vol.1, No.2 Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman, Samarinda.
- [8] Panduan Pemeriksaan Jembatan (BMS), 1992, Dirjen Bina Marga PU, Bandung.
- [9] Pemeriksaan Jembatan Rangka Baja, 2009, Pedoman Konstruksi dan Bangunan No. 005/BM/2009-Kementerian PU, Direktorat Bina Marga, Jakarta.
- [10] Pratama, A.,W., 2016, "Analisis Respons Struktur Atas Jembatan *Prestressed* Kuranji Akibat Gempa Horizontal", Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang.
- [11] Susanto, T., Budipriyanto, A., 2014, Deteksi Kerusakan dan Penempatan Sensor Percepatan Berbasis Respons Dinamis Struktur: Kasus Jembatan KA Porong, Sidoarjo: Jurnal Aplikasi Teknik Sipil Vol.12, No. 2 FTSP ITS, Surabaya.
- [12] Talumepa, J., R., dkk., 2019, "Respon Spektra Pada Jembatan Ir. Soekarno Manado", Vol.7, No.7 ISSN: 2337-6732. Fakultas Teknik Jurusan Sipil, Universitas Sam Ratulangi, Manado.

