

PERFORMA PENGGUNAAN RUBBER ISOLATOR PADA JEMBATAN GIRDER BETON

Performance of Rubber Isolator on Concrete Girder Bridges

Arief Kusbiantoro^{1*}, Rini Kusumawardani¹, Untoro Nugroho¹, Naufal Hanif¹, Kirana Prasetya
Azizah²

¹Universitas Negeri Semarang, Gunungpati, Semarang 50229

²Dinas Pekerjaan Umum Kota Semarang, Jalan Madukoro Raya No. 7, Krobokan, Semarang

*Korespondensi: arief_kusbiantoro@mail.unnes.ac.id

ABSTRAK

Jembatan sebagai salah satu infrastruktur penting yang merupakan penghubung antar wilayah sebagai penunjang mobilitas. Untuk memastikan keamanan, evaluasi akurat dari jembatan sangat dibutuhkan. Diantara beberapa metode yang ada dalam penelitian struktur jembatan, finite element model dianggap yang paling bisa mencerminkan kondisi struktur jembatan yang ada. Termasuk penelitian tentang berbagai komponen yang ada dalam jembatan, salah satunya yaitu rubber isolator. Jenis rubber isolator yang diteliti dalam studi ini adalah elastomeric bearing. Analisis evaluasi kinerja jembatan menggunakan metode elemen hingga dilakukan untuk mendapatkan hasil analisis momen ultimit dan deformasi. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai momen ultimit pada gelagar sebesar $2,191 \times 10^5$ kN.m dan deformasi pada gelagar sebesar $3,783 \times 10^5$ kN.m.

Kata kunci : jembatan, finite element model, rubber isolator

ABSTRACT

Bridges are an important piece of infrastructure which is a link between regions to support mobility. To ensure safety, accurate evaluation of the bridge is required. Among the existing methods, finite element model is needed that reflects the condition of the existing bridge. In planning and designing bridges, it is best to consider the function of transportation needs, technical requirements and architectural aesthetics which include traffic aspects, technical aspects and aesthetic aspects. The type of rubber insulator studied in this study is elastomeric bearing. The bridge performance evaluation analysis uses the three-dimensional finite element method to obtain the results of the ultimate moment, displacement and deformation analysis. The analysis results show that the ultimate moment value for the girder is 2.191×10^5 kN.m and for the girder is 3.783×10^5 kN.m.

Keywords: bridge, finite element model, rubber isolator

PENDAHULUAN

Beberapa penelitian yang telah dilakukan tentang *rubber isolator* pada beberapa waktu terakhir. Hubungan antara *rubber isolator* jembatan dan balok girder menentukan kondisi tumpuan yang dapat mempengaruhi kinerja jembatan. Pemodelan elemen hingga digunakan untuk memvalidasi spesifikasi kekakuan bantalan. Karakteristik kekakuan bantalan Florida DOT secara teoritis ditentukan berdasarkan nilai modulus geser elastomer yang bervariasi [1]. Studi parametrik dilakukan untuk mengetahui pengaruh isolator *lead rubber bearing* (LRB) dan karakteristik gerakan tanah terhadap respon jembatan. Tujuannya adalah untuk menyelidiki parameter LRB yang paling sesuai untuk gempa dari sistem jembatan terisolasi untuk gerakan tanah yang berbeda [2]. Analisis kinerja seismik dilakukan untuk jembatan jalan raya tiga bentang, yang mengalami percepatan gempa sedang hingga kuat dalam arah memanjang. Dari studi tersebut menunjukkan bahwa respon seismik jembatan dipengaruhi oleh penggunaan berbagai jenis bantalan solasi [3]. Makalah ini membahas kinerja optimal dari bantalan karet berbasis paduan memori bentuk (SMARB) dibandingkan dengan bantalan karet timbal (LRB) yang diadopsi secara konvensional untuk melindungi dek jembatan terhadap gempa bumi. Hasilnya menunjukkan hubungan antara efisiensi isolasi dan perpindahan bantalan di SMARB dibandingkan LRB konvensional [4].

Penyelidikan pengaruh kunci geser terhadap kinerja jembatan yang didukung bantalan karet laminasi, dengan penekanan pada hubungan antara kunci geser dan bantalan telah dilakukan. Model numerik nonlinier dari kegagalan bantalan geser dan kunci geser dimodelkan dalam model elemen hingga jembatan global [5]. Metode desain berbasis gaya dan berbasis perpindahan untuk bantalan redaman baja dianalisis dengan menggunakan metode linierisasi ekuivalen. Hasil eksperimen dan

numerik menunjukkan bahwa kedua metode desain dapat secara efektif mensimulasikan respons model jembatan. Selain itu, perbandingan antara model dengan bantalan peredam baja dan bantalan pot menunjukkan bahwa bantalan peredam baja dapat mengurangi gaya dan perpindahan yang diterima antara tiang dan gelagar [6]. Karakteristik jenis kendaraan, bobot kendaraan, jarak kendaraan, jarak sumbu roda, dan rasio distribusi bobot gandar pada jalur yang berbeda diperoleh dan dianalisis dengan menyusun sistem bobot gerak di suatu jalan raya. Hasilnya menunjukkan bahwa di bawah pengaruh volume lalu lintas saat ini, indeks evaluasi jembatan sampel setara dengan nilai desain yang disarankan dalam kode, dan cadangan keselamatan struktur jembatan relatif memadai [7]. Penyelidikan efektivitas sistem VD-LRBP, sebuah peredam viskos yang digabungkan dengan LRBP, dalam meredam energi dan mengurangi perpindahan struktur atas dan bawah yang disebabkan oleh geseran pada bantalan selama kejadian gempa. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan peredam viskos dapat mengurangi perpindahan relatif bangunan atas terhadap bangunan bawah hingga 60 persen [8].

METODE

Deskripsi Jembatan

Jembatan Dewi Sartika terletak di Jalan Dewi Sartika, berada pada koordinat $7^{\circ}01'10.51''$ S dan $110^{\circ}23'21.34''$ E yang membentang di atas sungai Kaligarang (Gambar 1). Data teknis merupakan komponen yang penting untuk menganalisis suatu struktur jembatan. Data tersebut diperoleh dari gambar desain dan spesifikasi yang digunakan dalam pekerjaan jembatan. Jembatan ini hanya terdiri dari 1 bentang dengan panjang 51.2 m. Lebar jembatan 10 m dengan lebar jalan efektif 7 m. Tebal plat jembatan 0.2 m. Plat jembatan ditopang oleh 6 buah girder bentuk I dengan jarak antar girder 1.4 m (Gambar 2-5).

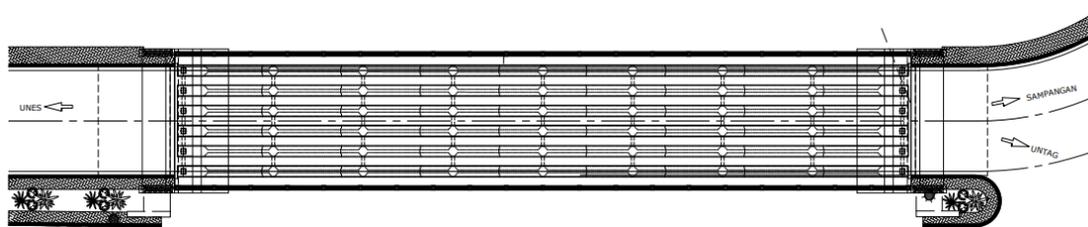


Gambar 1 Lokasi Jembatan Dewi Sartika

Finite Element Model Jembatan

Jembatan Dewi Sartika terdiri dari beberapa komponen utama yang terbagi dalam struktur atas dan struktur bawah yang akan dijelaskan dalam bagian berikut. Dimulai dari elemen plat jembatan sebagai bagian dari struktur atas jembatan. Pelat lantai merupakan salah satu bagian jembatan yang menerima secara langsung beban lalu lintas yang lewat di atas jembatan. Untuk kemudian mendistribusikan beban-beban tersebut sepanjang jembatan secara ke girder jembatan. Plat jembatan

menggunakan mutu beton K-350 dengan menggunakan besi tulangan U32. Saat ini girder beton pre-stressed sudah banyak digunakan pada konstruksi jembatan. Prinsip kerja girder beton pre-stressed memberikan tegangan awal sebagai hasil dari penarikan tendon yang arahnya berlawanan terhadap tegangan pembebanan yang akan menghasilkan momen negatif untuk mereduksi momen positif pembebanan. Pada jembatan ini menggunakan spesifikasi balok prategang tipe post tension segmental dengan jacking force 75% UTS (*Ultimate Tensile Strength*).

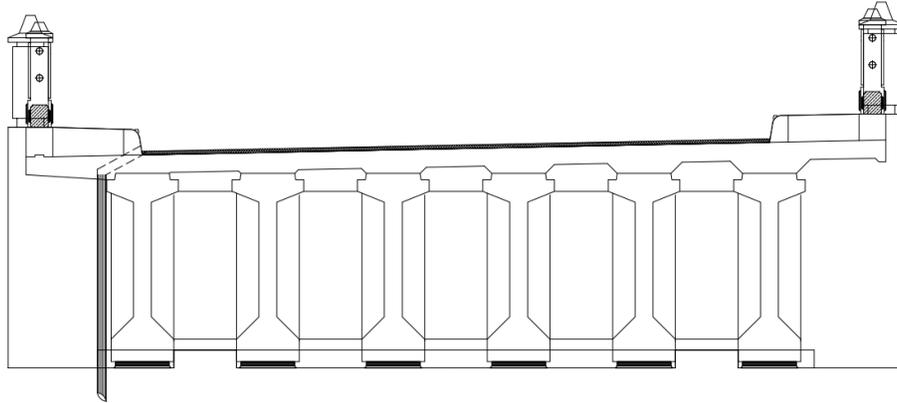


Gambar 2 Tampak Atas Jembatan

Agar bisa diberikan tegangan awal pada girder, maka diperlukan komponen tendon untuk melakukan fungsi tersebut. Tendon pada jembatan berupa gabungan kabel yang disatukan membentuk *strands*. Kuat tarik harus ditentukan dari hasil pengujian berdasarkan sertifikat fabrikasi yang resmi. Digunakan 6 tendon dengan total *strand* sebanyak 107 buah. Tendon C1 berisi

12 *strands*, untuk tendon C2 sampai C6 masing berisi 19 *strands*. Spesifikasi *strands* yang digunakan adalah jenis kable *uncoated seven wire strands* ASTM-416 dengan grade 270 dan diameter efektif 12.7 mm. Luas penampang 0.9871 cm² dengan *Ultimate Tensile Strength* sebesar 19000 kg/cm². Beban putus minimal 1 *strand* sebesar

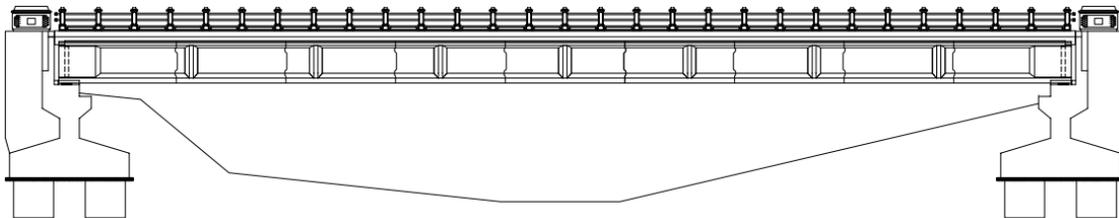
18755 kg dengan modulus elastis E sebesar $1.96 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$.



Gambar 3 Tampak Samping Jembatan

Berikutnya struktur bawah jembatan yang akan dimulai dari komponen abutment. Abutment termasuk bangunan substruktur yang mempunyai fungsi untuk menahan seluruh beban hidup dan beban mati pada jembatan. Beban yang diterima kemudian disalurkan ke pondasi kemudian beban tersebut diteruskan ke tanah oleh pondasi. Pada Jembatan Dewi Sartika Sampangan digunakan

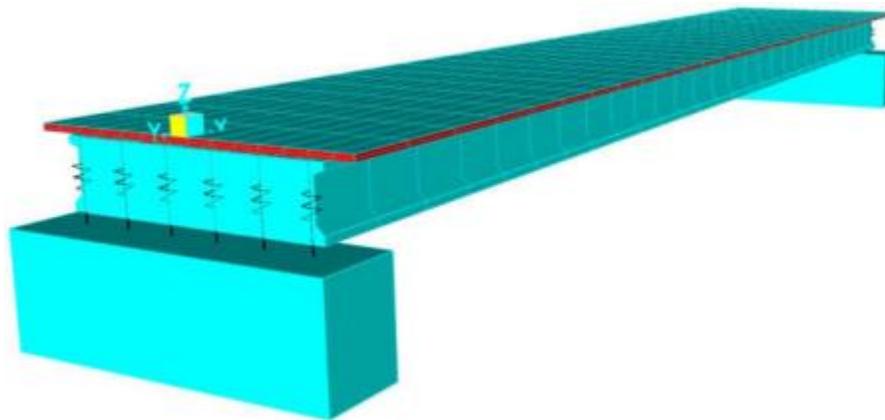
material abutment dengan mutu beton K250 dan besi tulangan U32. Komponen utama struktur berikutnya adalah pondasi. Pondasi berfungsi menahan beban bangunan yang berada di atasnya baik beban vertikal maupun beban horizontal kemudian diteruskan ke tanah. Untuk pondasi menggunakan pondasi sumuran dengan diameter 200 cm.



Gambar 4 Tampak Memanjang Jembatan

Dari data-data seperti *as built drawing* dan spesifikasi yang sudah ditetapkan untuk beberapa komponen utama yang sudah disebutkan di atas, kemudian dibuat *finite element model* seperti yang

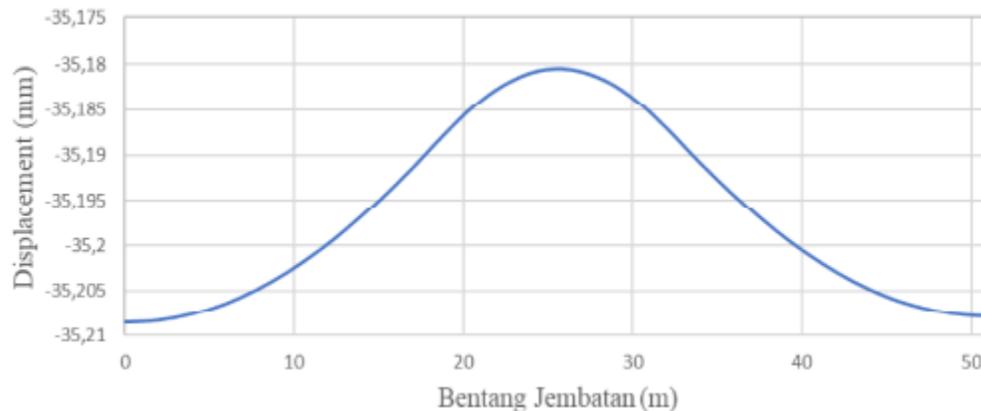
dapat dilihat di gambar 5. Pada penelitian tentang *rubber bearing* ini akan dibuat *finite element model* untuk struktur atas jembatan.



Gambar 5 Finite Element Model Jembatan

Beban kendaraan dengan memasukkan parameter beban jembatan menggunakan program *CSiBridge* termasuk kedalam berat lalu lintas, yaitu bobot truk "T". Memasukan pembebanan untuk bobot truk "T" mengikuti pembebanan yang telah

tersedia pada SNI 2016. Beberapa contoh kendaraan yang bekerja pada satu lajur. Untuk setiap contoh kendaraan dapat bergerak maju atau mundur dengan lokasi awal yang ditentukan, waktu mulai dan kecepatan.



Gambar 6 Vertical Displacement pada Seluruh Gelagar

Untuk beban hidup menggunakan beban truk dengan menganalisis struktur pada jembatan sepanjang 51,2 m dengan menggunakan *superstructure force* pada bentang jembatan dan memperhatikan seluruh gelagar didapatkan grafik ditengah bentang didapatkan hasil sebesar -35,1807 mm. *Displacement* vertical menggunakan kombinasi pembebanan yang paling besar pada program *CSiBridge* dengan menggunakan kombinasi beban (Gambar 6). Untuk kelayakan struktur pada Jembatan Dewi Sartika Sampangan Kota Semarang. Dari hasil diatas dapat disimpulkan bahwa untuk struktur jembatan bernilai ekonomis

tetapi masih memperhatikan aspek kelayakan pada jembatan tersebut. Hasil maksimal yang diterima struktur bawah pada Jembatan Dewi Sartika Sampangan bernilai 0,85 pada abutment dengan menggunakan gaya axial (P) dan berwarna oranye. Jadi, jika nilai yang terjadi pada jembatan sebesar 0,85 maka dianggap aman karena tidak melebihi batas limit yang ditetapkan oleh program *CSiBridge*.

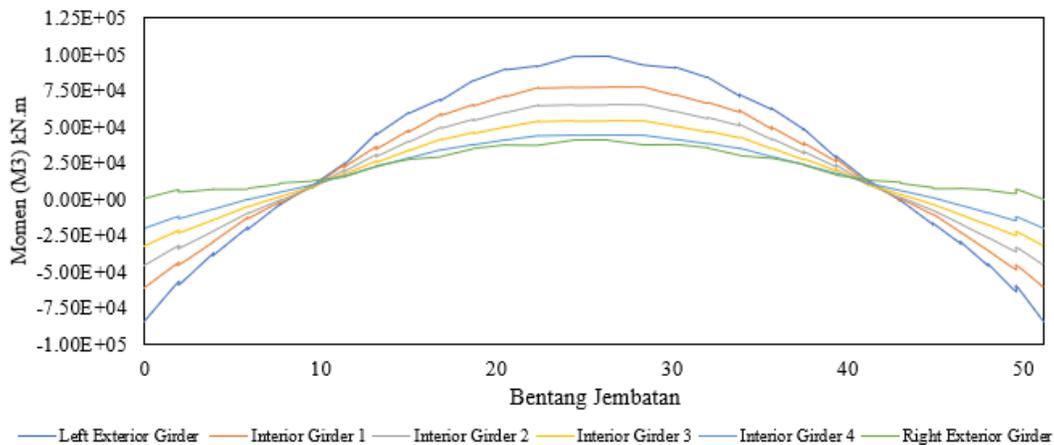
HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa konstruksi saat kondisi ini diperhitungkan dengan menggunakan struktur dalam yang

menahan momen dan gaya geser yang terjadi pada jembatan. Untuk hasil analisis dengan didapatkan hasil di gambar 7 dan Tabel 1 dengan nilai maksimum 378311,7 kN.m.

Tabel 1 Momen Ultimit

Kombinasi	Momen (Mu) kN.m
Kuat I	350328.4
Kuat II	328632.5
Kuat III	328632.5
Kuat IV	378311.7
Kuat V	345369.3



Gambar 7 Grafik Momen (M3)

Dari hasil analisa menggunakan program *CSiBridge* dapat dilihat momen ultimit (Mu) pada jembatan yang menggunakan kabel prategang lebih besar dari jembatan yang tidak menggunakan kabel prategang. Untuk hasil kekuatan gelagar terhadap gaya geser akan didukung oleh bagian pelat

jembatan. Keadaan yang menentukan dari hasil gaya geser adalah saat kondisi leleh dan tekuk. Dari hasil analisis didapati nilai gaya geser (V2) pada jembatan dengan hasil maksimal yang terbesar pada kombinasi kuat IV dengan nilai $6,54 \times 10^4$ kN (Tabel 2).

Tabel 2 Gaya Geser Ultimit

Kombinasi	Momen (Mu) kN.m
Kuat I	57411.71
Kuat II	54989.88
Kuat III	54989.88
Kuat IV	65399.46
Kuat V	56858.15

Untuk referensi dimensi *rubber bearing* didapatkan dari *Bridge Bearing CCL 2013*. Spesifikasi dapat dilihat sebagai berikut :

Tabel 3 Tipe Bearing dan Daya Dukung Vertikal

Referensi Bearing	Ukuran rencana (mm)	Tinggi (mm)	Berat (kg)	Kc (kN/mm)	Ks (kN/mm)	SLS Beban vertikal (kN)
6045-01-11ENR4	600X450	24	21.19	9658	15.19	7.7
6045-02-11ENR4	600X450	39	32.69	5107	9	15.4
6045-03-11ENR4	600X450	47	44.19	3471	6.39	23.1
6045-04-11ENR4	600X450	69	55.69	2629	4.96	30.8
6045-05-11ENR4	600X450	84	67.19	2116	4.05	38.5
6045-06-11ENR4	600X450	99	78.69	1770	3.42	46.2
6045-07-11ENR4	600X450	114	90.19	1522	2.96	53.9
6045-08-11ENR4	600X450	129	101.7	1334	2.61	61.6
6045-09-11ENR4	600X450	144	113.2	1188	2.34	69.3

Untuk perletakan yang digunakan pada program *CSiBridge* menggunakan reaksi perletakan U1, U2, U3 dengan directional properties free, sedangkan untuk R1, R2, R3 digunakan directional properties fixed. Dengan mempertimbangkan reaksi perletakan yang ada dilapangan untuk abutment kanan dan kiri menggunakan elastomer bearing yang sama. Besaran deformation yang terjadi pada elastomer bearing yang terpasang dapat dilihat pada Tabel 4. Dari hasil output analisis pada program *CSiBridge* pada elastomer bearing yang terpasang dapat dilihat pada Tabel 4 dan analisis

desain elastomer bearing yang ditawarkan dapat dilihat pada Tabel 4. Hasil deformation maksimal pada elastomer bearing yang terpasang pada arah horizontal arah X dengan nilai $-3,38 \times 10^{-7}$ mm, nilai horizontal arah Y dengan nilai $-3,11 \times 10^{-7}$ mm, dan untuk nilai vertikal Z adalah $2,97 \times 10^{-7}$ mm, sedangkan untuk desain elastomer bearing didapatkan deformation maksimal pada arah horizontal arah X dengan nilai $-1,11 \times 10^{-4}$ mm, nilai horizontal arah Y dengan nilai $-1,045 \times 10^{-10}$ mm, dan untuk nilai vertikal Z adalah $3,87 \times 10^{-7}$ mm.

Tabel 4 Besaran Deformasi Pada Elastomir

Link Element	Gelagar 1	Gelagar 2	Gelagar 3	Gelagar 4	Gelagar 5	Gelagar 6
Hasil	Envelope	Envelope	Envelope	Envelope	Envelope	Envelope
Tipe	Kombinasi	Kombinasi	Kombinasi	Kombinasi	Kombinasi	Kombinasi
U1 (mm)	3.19×10^{-7}	3.38×10^{-8}	2.58×10^{-8}	3.16×10^{-9}	1.32×10^{-9}	-9.14×10^{-9}
U2 (mm)	3.11×10^{-7}	-2.47×10^{-8}	2.56×10^{-8}	-1.84×10^{-9}	1.23×10^{-9}	1.11×10^{-8}
U3 (mm)	2.97×10^{-7}	-2.91×10^{-8}	5.34×10^{-8}	-2.66×10^{-9}	3.89×10^{-9}	1.62×10^{-7}
R1 (rad)	2.97×10^{-7}	4.11×10^{-8}	5.48×10^{-8}	5.54×10^{-9}	3.97×10^{-9}	-1.51×10^{-8}
R2 (rad)	2.44×10^{-7}	3.44×10^{-9}	4.97×10^{-9}	-5.92×10^{-10}	3.43×10^{-10}	1.41×10^{-11}
R3 (rad)	2.39×10^{-7}	6.83×10^{-8}	4.2×10^{-8}	2.56×10^{-9}	2.78×10^{-9}	2.79×10^{-11}

KESIMPULAN

Menurut analisis yang selesai dilakukan dan pemodelan pada program, maka didapatkan beberapa kesimpulan dari hasil analisis data yang didapatkan. Hasil analisis menggunakan program *CSiBridge* didapatkan nilai kelayakan struktur pada Jembatan Dewi Sartika Sampangan bernilai 0,85 pada abutment dengan menggunakan gaya axial (P) dan berwarna oranye. Untuk nilai tersebut dinyatakan aman karena tidak melebihi batas limit pada program *CSiBridge*. Berdasarkan hasil analisis didapati perbedaan kekuatan gelagar dengan dan tanpa kabel prategang dimana struktur jembatan

lebih baik menggunakan gaya prategang. Hasil analisis momen ultimit gelagar adalah $3,783 \times 10^5$ kN.m. Gaya geser ultimit pada gelagar sebesar $6,54 \times 10^4$ kN. Hasil analisis dengan menggunakan program *CSiBridge* didapatkan hasil deformation pada elastomer bearing yang terpasang pada arah horizontal arah X dengan nilai $-3,19 \times 10^{-7}$ mm, nilai horizontal arah Y dengan nilai $-3,11 \times 10^{-7}$ mm, untuk nilai vertikal Z adalah $2,97 \times 10^{-7}$ mm. Sedangkan untuk displacement yang terjadi pada Jembatan Dewi Sartika Sampangan dengan mengansumsikan truk pada perhitungan dari SNI, 2016. Didapatkan hasil dengan nilai vertical displacement ditengah bentang didapatkan hasil

sebesar -35,1807 mm. Hasil analisis didapatkan hasil deformation pada elastomer bearing yang terpasang sebesar pada arah horizontal arah X dengan nilai $-3,38 \times 10^{-7}$ mm, nilai horizontal arah Y dengan nilai $-3,11 \times 10^{-7}$ mm, dan untuk nilai vertikal Z adalah $2,97 \times 10^{-7}$ mm dan untuk sudut putar pada elastomer bearing sebesar pada sudut R1 dengan nilai $2,97 \times 10^{-7}$ rad, pada sudut R2 dengan nilai $2,44 \times 10^{-7}$ rad, pada sudut R3 dengan nilai $2,39 \times 10^{-7}$ rad.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nur Yazdani, Scott Eddy, and Chun S. Cai. (2000). Effect of Bearing Pads on Precast Prestressed Concrete Bridges. *J. Bridge Eng.*, 5(3): 224-232.
- [2] Asif Hameed, Min-Se Koo, Thang Dai Do, and Jin Hoon Jeong. (2008). "Effect of Lead Rubber Bearing Characteristics on the Response of Seismic-isolated Bridges." *KSCE Journal of Civil Engineering*, 12(3):187-196.
- [3] A. Rahman Bhuiyan, M. Shahria Alam. (2013). Seismic performance assessment of highway bridges equipped with superelastic shape memory alloy-based laminated rubber isolation bearing. 49, 396-407.
- [4] Sudib K. Mishra, Sourav Gur, Koushik Roy, and Subrata Chakraborty. (2015). Response of Bridges Isolated by Shape Memory-Alloy Rubber Bearing. *J. Bridge Eng.*, 04015071
- [5] Nailiang Xiang, Jianzhong Li. Effect of exterior concrete shear keys on the seismic performance of laminated rubber bearing-supported highway bridges in China.
- [6] Cong Liu , Ri Gao , Bo Guo. Seismic design method analyses of an innovative steel damping bearing for railway bridges. 167 (2018) 518-532.
- [7] Yuzhao Liang, Feng Xiong. Measurement-based bearing capacity evaluation for small and medium span bridges. 149 (2020) 106938.
- [8] Seyed Saman Khedmatgozar Dolati, Armin Mehrabi and Seyed Sasan Khedmatgozar Dolati. (2021). Application of Viscous Damper and Laminated Rubber Bearing Pads for Bridges in Seismic Regions. *Metals*, 11, 1666.