

Analisis Kinerja Bearing Jembatan Kereta Api (Studi Kasus : Jembatan BH114 Ngawi – Madiun Jawa Timur)

Mulyono¹, Pariatmono Sukamdo²

¹Program Magister Teknik Sipil - Universitas Mercu Buana, Jakarta
email: mulyono2497@gmail.com

²Program Magister Teknik Sipil - Universitas Mercu Buana, Jakarta
email: pariatmono@mercubuana.ac.id

Received: 30-05-2023 Revised: 20-02-2025 Accepted: 07-05-2025

Abstract

The most important part in the bridge construction component is the placement system. Elastomeric bearings are a type of bearing commonly used in bridge construction. Errors in planning calculations will pose a risk of construction collapse. The purpose of the elastomer installation planning simulation was to determine the technical data for elastomer installation referring to SNI 3967:2013 and to understand the elastomeric placement design calculations referring to the elastomer placement design guidelines stipulated in a circular letter from PUPR in 2015 and elastomeric bearing specifications in SNI 3967:2013. The elastomeric placement design was simulated on the BH114 Kreta Api Bridge construction project. 206+000 - kms. 209+300 between Madiun - Kedung Banteng along 3.3 KM'SP Surabaya Gubeng - Solo. The bearing was a layered elastomeric bearing bearing, whose dimensions were: Elastomeric Length (L) = 800mm, Width (L) = 800mm, Thickness (H) = 202mm, Cover Thickness (hr_{cover}) = 5mm, Inner Thickness (hr_{inner}) = 18mm, Number of Steel Layers (N_{layer}) = 10 layers and steel sheet thickness, hst = 3mm. The results of the control calculations in the discussion showed that the elastomeric installation used meets the requirements.

Keywords: Bearing; Elastomer; Railway Bridge.

Abstrak

Bagian yang terpenting dalam komponen konstruksi jembatan adalah sistem peletakan. Bantalan Elastomer adalah Jenis bantalan yang biasa digunakan dalam konstruksi jembatan. Kesalahan dalam perhitungan rencana akan menimbulkan risiko keruntuhan konstruksi. Tujuan dari simulasi perencanaan pemasangan elastomer adalah untuk menentukan data teknis pemasangan elastomer mengacu SNI 3967:2013 serta perhitungan desain penempatan elastomer mengacu pedoman desain penempatan elastomer yang diatur dalam surat edaran dari PUPR pada tahun 2015 dan spesifikasi bantalan elastomer dalam SNI 3967:2013. Desain penempatan elastomer disimulasikan pada proyek pembangunan Jembatan Kreta Api BH114. 206+000 - km. 209+300 antara Madiun - Kedung Banteng sepanjang 3,3 KM'SP Surabaya Gubeng - Solo. Bantalan adalah bantalan bantalan elastomer berlapis, yang dimensinya adalah: Panjang Elastomer (L) = 800mm, Lebar (L) = 800mm, Tebal (H) = 202mm, Tebal Cover (hr_{cover}) = 5mm, Tebal dalam (hr_{inner}) = 18mm, Jumlah lapisan baja (N) = 10 lapis, dan tebal lembaran baja (hst) = 3mm. Dari hasil pembahasan perhitungan kontrol menunjukkan bahwa pemasangan elastomer yang digunakan telah memenuhi standar yang dipersyaratkan.

Kata kunci: Perletakan; Elastomer; Jembatan Kereta Api.

PENDAHULUAN

Pembangunan sarana dan prasarana perkeretaapian juga ditetapkan sebagai daftar Proyek Strategis Nasional 2021 di antara 8 proyek kereta api antar-kota dan 5 proyek kereta api dalam kota, (Peraturan Pemerintah 42, 2021).

Jembatan adalah suatu konstruksi yang gunanya meneruskan jalan melalui suatu rintangan yang berada lebih rendah (Struyk & Van der Veen, 1984). Hambatan ini biasanya jalan lain berupa saluran air atau lalu lintas biasa. Jembatan di atas jalan raya sering disebut sebagai jembatan.

Dalam penelitian (Joni, 2017:8), salah satu faktor penyebab kegagalan struktur jembatan adalah pada tumpuan (*bearing*). Semua jembatan menggunakan *bearing*, *bearing* tempat dilalui gaya, kerusakan tumpuan (*bearing*) pada derajat tertentu akan mempengaruhi sistem pendukung tumpuan terhadap beban yang pada akhirnya sistem distribusi beban berubah. Oleh karena itu tingkat kerusakan tumpuan ini dibatasi agar sistem pembebanan asli tidak berubah. Tingkat kerusakan nilai maksimum yang diperbolehkan tergantung pada jenis tumpuan itu sendiri.

Dalam Penelitian (Santoso : 6 , 2020) Seiring dengan umur dan masa layan dari jembatan, bantalan karet akan mengalami kerusakan akibat degressi kualitas material maupun perubahan bentuk (deformasi). Penyebabnya adalah Faktor usia, Cuaca, Lingkungan, dan beban lalu lintas yang melintas jembatan. Berdasarkan kriteria desain jembatan, umur rencana jembatan standar yang ditetapkan minimal 50 tahun. Dengan beban mati yang ditumpu untuk 1 buah Abutment 380,55 Ton terdiri dari 5 perletakan.

Jembatan yang menjadi obyek penelitian ini adalah Jembatan Kreta Api BH114 pada proyek pembangunan Pembangunan jalur ganda KA lintas selatan jawa KM. 206+000 - KM. 209+300 antara Madiun – Kedungbanteng sepanjang 3,3 KM'SP lintas Surabaya Gubeng – Solo. Dengan jenis jembatan pratekan sepanjang total 29,6 m dan terdiri dari 1 seksi jembatan. Lebar jembatan adalah 5,45 meter didukung oleh 4 balok pratekan berjarak 1,2 m dan disimulasikan oleh pelat bantalan elastomer berlapis. Perencanaan jembatan mengacu pada Standard Bride Managemen System (BMS) 2002 dan (SNI-1725-2016).

Penyangga elastis untuk jembatan biasanya menggunakan karet (elastomer). Karena elastomer dapat berputar (dibatasi oleh ketebalan) dan juga berputar secara horizontal (terbatas, yang juga ditentukan oleh ketebalan), perannya dalam balok jembatan di bawah beban vertikal dapat seperti roller, bahkan jika ada garis rusuk yang besar (misal gempa bumi) harus dipasang elastomer lain secara melintang (langsung ke elastomer pertama).

Karakteristik bantalan Elastomer (Elastomer bearing pad) beban maksimumnya pada arah vertikalnya 5000 kN, perpindahan

maksimumnya 50 mm, baik untuk menahan beban gempa sebagai peredam (buffer).

Peletakan Elastomer dirancang sesuai dengan umur rencana jembatan. Jika perancangan tidak sesuai dengan umur rencana jembatan, maka fasilitas pemeliharaan jembatan harus dilengkapi dengan jarak pengangkatan balok jembatan.

Tujuan dari simulasi perencanaan pemasangan elastomer adalah untuk menentukan data teknis pemasangan elastomer mengacu SNI 3967:2013 serta memahami perhitungan desain penempatan elastomer mengacu pedoman desain penempatan elastomer yang diatur dalam surat edaran dari PUPR pada tahun 2015. Berdasarkan panduan ini, parameter perhitungan elastomer menggunakan beban mati ditambah beban hidup, dengan persamaan di bawah ini:

$$\sigma_s = \frac{P_{DL} + P_{LL}}{A}$$

$$\sigma_L = \frac{P_{LL}}{A}$$

dimana σ_s adalah nilai rata-rata tegangan akibat semua beban (MPa), σ_L menunjukkan nilai tegangan rata-rata dari nilai tegangan (MPa), PDL menunjukkan nilai beban desain (kN), PLL adalah nilai tegangan desain (kN) dan nilai A adalah nilai luas total (mm²).

Bentuk lapisan elastomer yang tidak berlubang dapat menggunakan rumus persamaan di bawah ini:

$$S = A / (I_p \times h_{ri})$$

$$I_p = 2(L + B)$$

$$A = L \times B$$

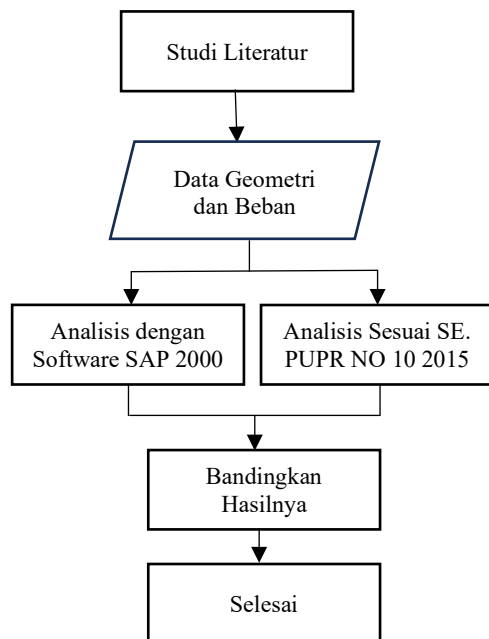
S adalah nilai faktor bentuk, A adalah luas penampang total (mm²), I_p adalah nilai keliling elastomer yang sudah ada di dalam lubang (mm), h_{ri} adalah tebal efektif karet pada lapisan pelat baja.

METODE PENELITIAN

Merujuk dari penelitian sebelumnya dengan judul Perancangan peletakan Elastomer mengacu dengan Perancangan Bantalan Elastomer untuk peletakan Jembatan tahun 2015 (Studi Kasus Jembatan BH114 Ngawi – Madiun Jawa Timur), (Mulyono 2023).

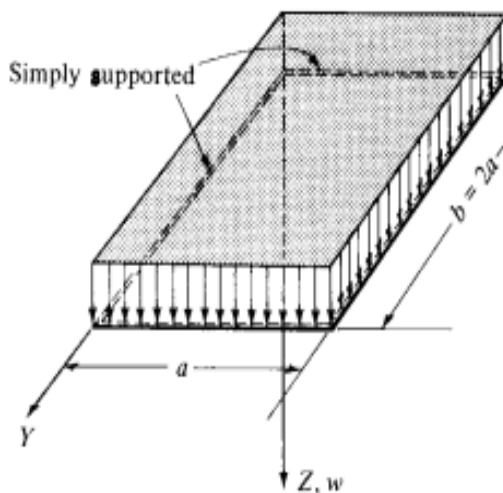
Data utama jembatan yang diperoleh dari pengamatan langsung dilapangan dan gambar kerja denah maupun potongan memanjang jembatan Kereta Api BH114 pada pembangunan jalur ganda KA lintas selatan jawa KM. 206+000 - KM. 209+300 antara Madiun – Kedungbanteng sepanjang 3,3 KM'SP lintas Surabaya Gubeng–Solo.

peletakan pada bantalan elastomer mengacu pada data utama yang di dapat dari SNI 3967:2013.



Gambar 1. Kerangka Penelitian

Model Sederhana Verifikasi Teori Analisis Pelat dengan Perangkat Lunak SAP 2000



$$\omega_{max} = \frac{0.0101p0^4}{D}$$

$$D = \frac{Eh^4}{12(1 - \nu^2)}$$

Gambar 2. Teori Analisis Pelat
Sumber: Szilard 2004

Data Pelat

a = 400 mm

b = 800 mm
h = 202 mm
 $\nu = 0.3$
 $E = 200.000 \text{ N/mm}^2$
Beban = 1.4 N/mm²

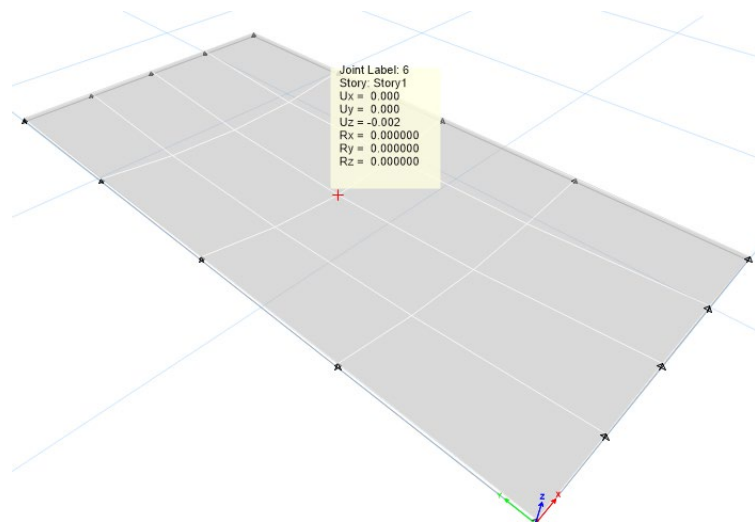
$$D = \frac{200.000 \times 202^4}{12(1-0.3^2)}$$

$$D = 150959853479.85$$

$$\omega_{max} = \frac{0.0101 \times 1.4^4}{150959853479.85}$$

$$\omega_{max} = 0.002 \text{ mm}$$

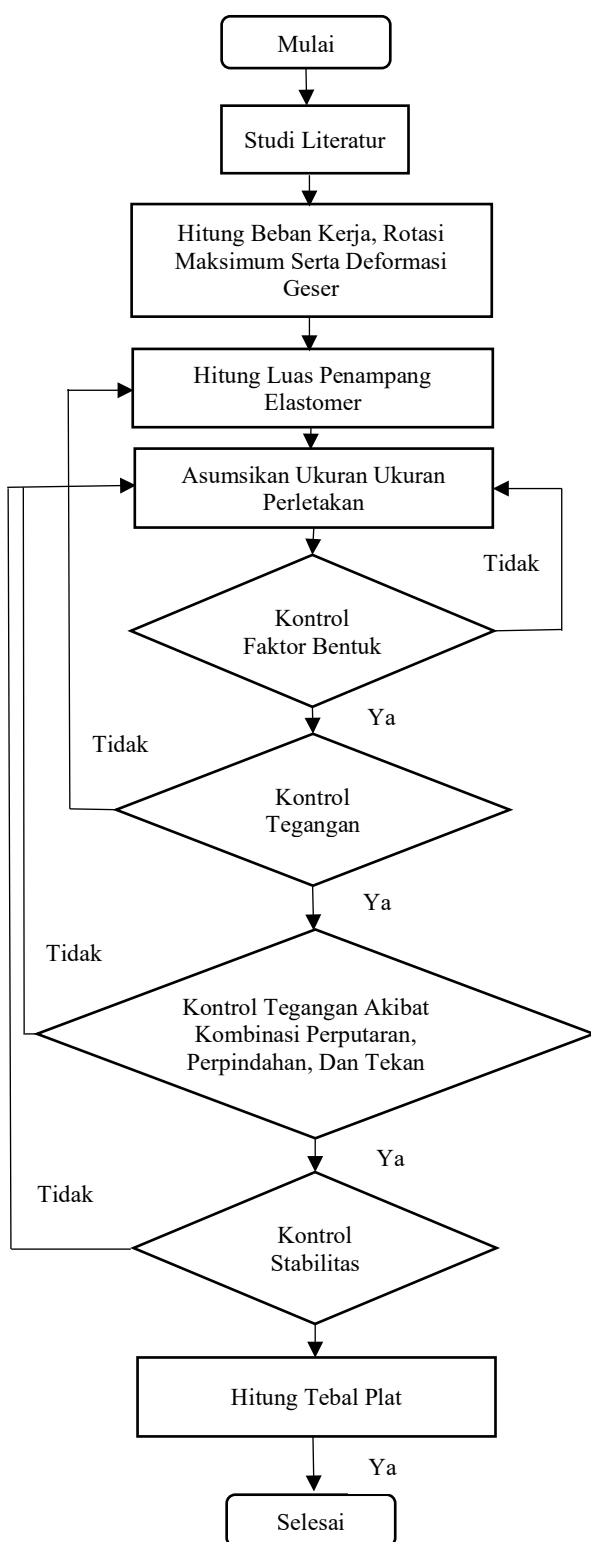
Verifikasi Teori dengan SAP 2000



Tower and Story	Label	Unique Name
Story1	6	14

Point Displacement and Drift			
	X	Y	Z
Translation, mm	0.000	0.000	-0.002
Rotation, rad	0.000000	0.000000	0.000000
Drift	N/A	N/A	

Gambar 3. Hasil Analisis Lendutan Pada Sumbu Z



Gambar 4. Alur Analisis SE PUPR No.10 /2015

Sumber data: Pedoman desain bantalan elastomer untuk pemasangan jembatan 2015.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Spesifikasi teknis jembatan Kereta Api BH 114 (KM.206 + 513) yang berlokasi di Ngawi Jawa timur sebagai berikut :

- Panjang bentang(L) = 26,9 m

- Lebar (B) = 5,45 m
- Tinggi Konstruksi (T) = 3,6 m
- Lebar Grider = 0,7 m
- Tinggi Grider = 1,7 m
- Mutu Beton = K -350 kg/cm²
- Modulus elastisitas beton = 25332,084 MPa

Desain struktur jembatan berpedoman pada BMS 2002 dan SNI-1725-2016).

PEMBAHASAN

Analisis Elastomer Sesuai SE PUPR No.10/2015

Tabel 1. Beban Elastomer

No	Beban	Gaya (kN)
1	Beban Hidup	1412,20
2	Beban Mati	3055,23
3	Beban Layan	4467,43

Tabel 2. Data primer peletakan elastomer

No	Uraian	Nilai
1	Baja (fy)	420 (MPa)
2	Jumlah lapisan baja (N _{layer})	9 (Lapis)
3	Panjang Elastomer (L)	800 (mm)
4	Lebar Elastomer (W)	800 (mm)
5	Mutu karet elastomer	55 Shore "A"
6	Batas patah (F _{TH})	31 (MPa)
7	Perpindahan (Δ _s)	7,75 (mm)
8	Rotasi	0,00228 (rad)
9	Modulus Geser (G)	0,7 (MPa)
10	Batas Tegangan Delaminasi	7 (MPa)

a. Tebal dan Tinggi

Ketebalan total karet elastomer,

$$h_{rt} = (2 \times h_{cov}) + (n \times h_{ri})$$

$$h_{rt} = (2 \times 5) + (9 \times 18)$$

$$h_{rt} = 172 \text{ mm}$$

Tinggi total elastomer,

$$H = h_{rt} + (n + 1) \times h_s$$

$$H = 172 + (9 + 1) \times 3$$

$$H = 202 \text{ mm}$$

b. Luas area elastomer yang diperlukan

Luas elastomer perlu,

$$A_{perlu} = \frac{D_{layan-1}}{\sigma_{s-maks}} = \frac{4467433}{7} = 638204,29 \text{ mm}^2$$

Luas keseluruhan elastomer,

$$A = W \times L = 800 \times 80 = 640000 \text{ mm}^2$$

Kontrol luas elastomer pakai,

$$A > A_{perlu}$$

$$640000 > 638204,29 \text{ (Sesuai Syarat)}$$

c. Faktor bentuk

Batasan toleransi faktor bentuk (S) harus berada pada :

1. Elastomer lapis polos $1 < S \leq 4$
2. Elastomer berlapis baja $4 < S \leq 12$.

$$S = \frac{A}{I_p \times h_{ri}}$$

$$S = \frac{3600}{3200 \times 18} = 11,111$$

$$4 < 11,11$$

$$\leq 12 \text{ (Sesuai Syarat)}$$

d. Tegangan Tekan

Tegangan pada elastomer akibat kombinasi beban layan 1,

$$\sigma_s = \frac{D_{layan-1l}}{A} = \frac{4467433}{640000} = 6,98 \text{ MPa}$$

Tegangan pada elastomer akibat beban hidup

$$\sigma_l = \frac{D_{ILL}}{A} = \frac{141220}{640000} = 2,2 \text{ MPa}$$

Tegangan maksimum dengan deformasi geser yang tidak di kekang,

Kondisi 1: $\sigma_{s-maks} = 7,00 \text{ MPa}$

Kondisi 2: $\sigma_{s-maks} = G \times S = 0,7 \times 11,11 = 7,78 \text{ MPa}$

Tegangan maksimum dengan deformasi geser yang di kekang,

Kondisi 1: $\sigma_{s-maks} = 7,70 \text{ MPa}$

Kondisi 2: $\sigma_{s-maks} = G \times S = 8,56 \text{ MPa}$

Kontrol tegangan pada elastomer, Syarat:

$$\sigma_s < \sigma_{s-maks}$$

$$6,980 < 7,00 \text{ (Sesuai Syarat)}$$

e. Nilai akibat deformasi geser

Nilai deformasi akibat rangkakan

$$\Delta_{cr} = \frac{t^{0,6}}{10 \times t^{0,6}} \times C_u \times \epsilon_e \times L$$

Nilai t merupakan nilai rencana umur pembebanan (1000 tahun = 365000 hari), C_u adalah nilai koefisien rangkakan maksimal, nilai $C_u = 2,5$ untuk $f_c' = 29,05 \text{ MPa}$, dan ϵ_e adalah nilai regangan elastis saat akibat dari tegangan tetap.

$$\epsilon_e = \frac{0,7 \times \sqrt{f_c'}}{\epsilon_c} = 0,000149 = 1,49 \cdot 10^{-4}$$

$$\Delta_{cr} = \frac{365000^{0,6}}{10 \times 365000^{0,6}} \times 2,5 \times 1,49 \cdot 10^{-4} \times 26900$$

$$\Delta_{cr} = 9,97 \text{ mm}$$

Nilai deformasi akibat Susut

$$\Delta_{sh} = \frac{t}{35 \times t} \times \epsilon_{csu} \times L$$

Nilai t merupakan nilai usia beton, terhitung sejak 7

hari- 20 hari, ϵ_{csu} adalah nilai koefisien susut max,

nilai $\epsilon_{csu} = 0,00017$ untuk $f_c' = 29,05 \text{ MPa}$.

$$\Delta_{sh} = \frac{20}{35 \times 20} \times 0,00017 \times 26,9$$

$$\Delta_{sh} = 1,83 \text{ mm}$$

Nilai deformasi akibat perbedaan suhu

$$\Delta L = L \times \alpha \times \Delta T$$

$$\Delta L = 26900 \times (10 \times 10^{-6}) \times \frac{1}{2}(40-15)$$

$$\Delta L = 3,70 \text{ mm}$$

Jumlah deformasi

$$\Delta_{total} = \frac{1}{2} (\Delta_{cr} + \Delta_{sh} + \Delta L)$$

$$\Delta_{total} = \frac{1}{2} (9,97 + 1,83 + 3,7)$$

$$\Delta_{total} = 7,75 \text{ mm}$$

Nilai Deformasi geser rencana:

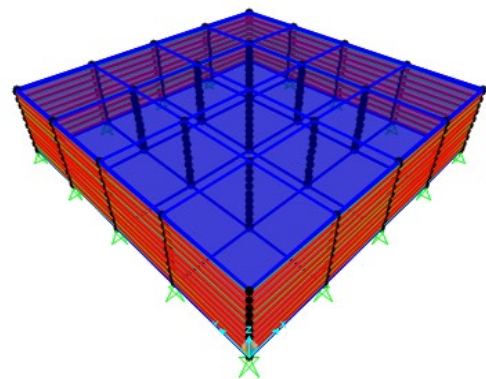
$$\Delta_s = 7,75 \text{ mm}$$

Deformasi izin

$$\Delta_{ijin} = 2 \times \Delta_s = 2 \times 7,75 = 15,50 \text{ mm}$$

Analisis Elastomer Software SAP 2000

- Pemodelan Elastomer dengan peletakan Fixed - Fixed
- Nilai Safety Factor Elastomer 2

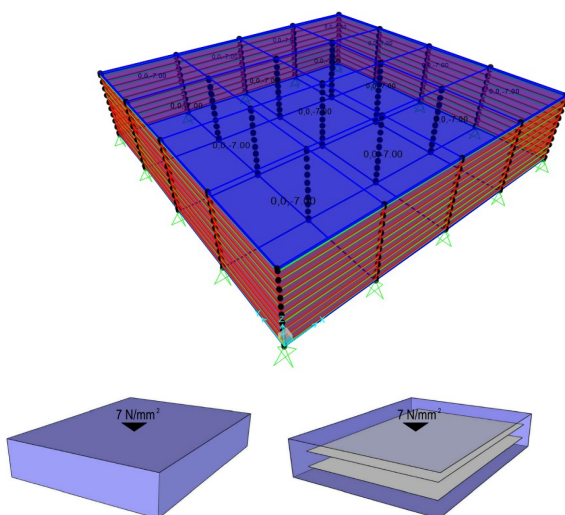


Gambar 5. Pemodelan dengan SAP 2000

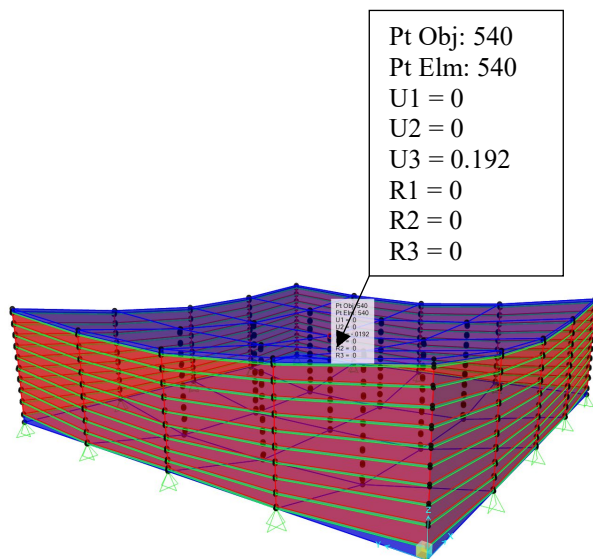
Tabel 3. Modulus Elastisitas bahan

No	Material	Berat Jenis [kN/m ³]	Modulus Elastis (Mpa)	Rasio Poisson
1	Baja	77	200.000	0.30
2	Karet	13	4	0.48

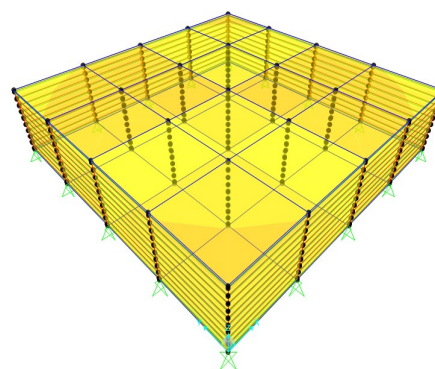
Sumber: Timoshenko, 2000



Gambar 6. Input Beban Service Elastomer dari Sumbu Z



Gambar 7. Defleksi yang terjadi pada Pemodelan Elastomer Pada Sumbu Z

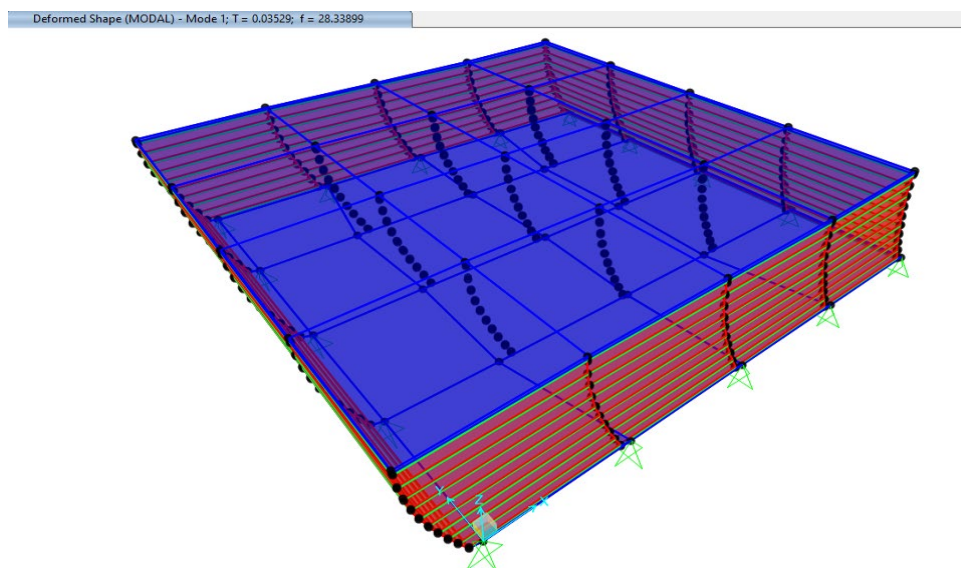


Gambar 8. Tegangan yang terjadi pada Pemodelan Elastomer

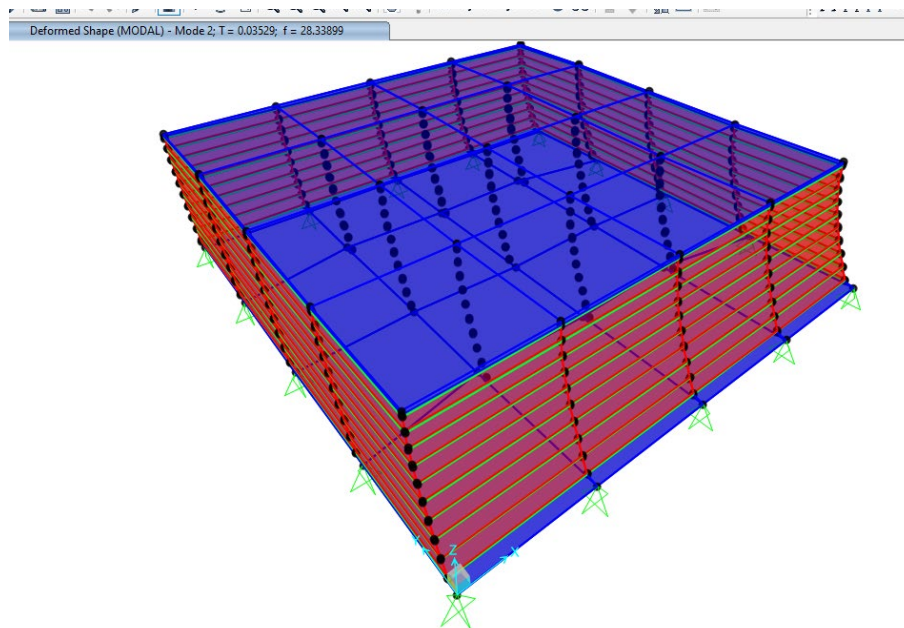
Tabel 4. Tegangan

No	Output Case	Smax N/mm2
1	BebanLayan	0.37
2	Beban Layan	0.536
3	Beban Layan	0.555
4	Beban Layan	0.538
5	Beban Layan	0.481
6	Beban Layan	0.571
7	Beban Layan	0.501
8	Beban Layan	0.477
9	Beban Layan	0.518
10	Beban Layan	0.571
11	Beban Layan	0.501
12	Beban Layan	0.571
13	Beban Layan	0.477
14	Beban Layan	0.536
15	Beban Layan	0.555
16	Beban Layan	0.538

Berdasarkan hasil analisis di dapatkan hasil
 $\sigma_{max} = 0.571 \text{ MPa}$



Gambar 9. Mode 1 yang terjadi pada Pemodelan Elastomer



Gambar 10. Mode 2 yang terjadi pada Pemodelan Elastomer

Tabel 5. Modal Periods And Frequencies

Mode	Priode Sec	Frequency Cyc/sec	CircFreq rad/sec	Eigenvalue rad2/sec2
1	0.035	28.338	178.059	31705.05
2	0.035	28.338	178.059	31705.05
3	0.033	29.695	186.584	34813.64
4	0.023	43.028	270.357	73093.17
5	0.012	80.427	505.342	73093.17
6	0.012	80.427	505.342	255371.07
7	0.011	85.180	535.203	255371.07
8	0.011	85.180	535.203	286443.02
9	0.011	88.377	555.291	308348.32
10	0.009	102.721	645.418	416564.63
11	0.009	109.838	690.132	416564.63
12	0.009	109.838	690.132	476283.063

KESIMPULAN

Hasil perhitungan didapatkan hasil defleksi 0.0192 mm, Tegangan Max 6.98 MPa, nilai deformasi terhadap rangkai 9.9 mm, nilai deformasi akibat Susut 1.83 mm, nilai deformasi akibat perbedaan suhu 3.7 mm, priode gempa pada mode 1, 0.0352, Load Participation Ratios Static 99.8 dan Dynamic 96.4

Hasil pembahasan desain perhitungan menunjukkan bahwa elastomer yang digunakan telah memenuhi syarat dari ketebalan lapisan, tegangan tekan, rotasi, lendutan, deformasi geser dan stabilitas.

Tabel 6. Modal Modal Load Participation Ratios

OutputCase	ItemType	Item	Static Percent	Dynamic Percent
MODAL	Acceleration	UX	99.875	96.481
MODAL	Acceleration	UY	99.875	96.481
MODAL	Acceleration	UZ	94.1966	63.1627

Tabel 7. Rekap Hasil Analisis

No.	Uraian	Analisis Software	SE PUPR 2015
1	Defleksi (mm)	0.0192	
2	Tegangan (MPa)	0.571	6.98
3	Deformasi akibat Rangkai		9.9
4	Deformasi akibat Susut (mm)		1.83
5	Deformasi Akibat Perbedaan suhu (mm)		3.7
6	Periode Gempa pada mode 1 (Sec)	0.0352	-

DAFTAR PUSAKA

- Andriani, W., Cifriadi, A., & Puspitasari, S. 2019. Pengaruh Jenis Arang Hitam Terhadap Sifat Mekanik Komposit Karet Alam Pada Vulkanisat Elastomer Bantalan Jembatan. Jurnal Penelitian Karet, January, 65–74.
- Anis R, Ravikiran & Virupakshi, 2016). Link Slab Capacity In Bridges Supported By Lead Rubber Bearing And Elastomer.
- Badan Standarisasi Nasional. (2013). SNI 3967-2013 *Spesifikasi bantalan elastomer tipe polos dan tipe berlapis untuk perletakan jembatan..* Bandung: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. (2013). SNI 1725-2016 *Pembebanan untuk jembatan..* Bandung: Badan Standarisasi Nasional.

- Bong, T., Stuedlein, A. W., Martin, J., & Kim, B. II. 2020. Bearing capacity of spread footings on aggregate pier-reinforced clay: Updates and stress concentration. *Canadian Geotechnical Journal*, 57(5), 717–727.
- Gadabinausaha. 2016. Struktur Jembatan. <https://elastomericbearingpads.wordpress.com/2016/08/24/struktur-jembatan> (diakses pada tanggal 09/11/2021)
- Hong, X., Guo, W., & Wang, Z., (2020). Seismic Analysis of Coupled high-Speed train-Bridge with the Isolation of Friction Pendulum Bearing. *Journal of Hindawi Advance in Civil Engineering*. 20(15), 14
- Imad, H. U., Akhund, M. A., Ali, T. H., Khoso, A. R., & Siddiqui, F. H. (2018). Time Overrun in Pre-Construction Planning Phase of Construction Projects. *International Journal of Civil and Environmental Engineering*, 12
- Jabbaraeh, A. M., Rahman, M. M., & Karbakhsh, A. (2014). Numerical Analysis of Seismic Elastometric Isolation bearing in the Base-Isolated Building. *Open Journal of Earthquake Research*, 3, 1-4.
- Joni, G. P. (2017). Faktor-faktor penyebab kegagalan struktur jembatan. Bandung. Fakultas Teknik Universitas Udayana
- Kuhnle, R. & Alonso, C. (2013). Flow Near a Model Spur Dike with A Fixed Scoured Bed. *International Journal of Sediment Research*, 28(3), 349-357.
- Mpmperkasa, 2021. elastomeric-bearing-pad. <https://www.mpmperkasa.com/2021/06/elastomeric-bearing-pad-jakarta-jual.html> (diakses pukul 10:47 tanggal 09/11/2021)
- Peraturan Pemerintah No.42 . 2021. Kemudahan Proyek Strategis Nasional 2021 <https://money.kompas.com/read/2021/08/04/120453426/termasuk-ka-di-bali-ini-daftar-proyek-strategis-nasional-kereta-api?page=all> (diakses pukul 10:47 tanggal 09/11/2021)
- Santoso, H. T., Umum, P. P., Hartono, J., Pekerjaan, K., & Republik, U. (2020). Metode Penggantian Bantalan Karet Elastomer (Elastomeric Bearing Pad) Pada Jembatan (Studi Kasus : Jembatan Asahan , Jawa Tengah).
- Sigtech. 2019. Elastomer Bearing. <https://sigtech.co.id/product/karet-bantalan-jembatan/> (diakses pukul 10:47 tanggal 09/11/2021)
- Sumatri. (2021). Perancangan Perletakan Elastomer berdasarkan Pedoman Perancangan Bantalan Elastomer untuk Perletakan Jembatan Tahun 2015. JCEBT (Journal of Civil Engineering, Building and Transportation), ISSN 2549-6387.
- Szilard . 2004. Theories and Applications of Plate Analysis
- Wang, R. Z., dkk. (2014). Analytical simulations of the steel-laminated elastomeric bridge bearing. *Journal of Mechanics*, 30(4), 373–382.