

KINERJA DINAMIK JEMBATAN RANGKA BAJA YANG MENERAPKAN *LEAD RUBBER BEARING (LRB)* (*DYNAMIC PERFORMANCE OF STEEL TRUSS BRIDGE BY USING LEAD RUBBER BEARING (LRB)*)

N. Retno Setiati¹⁾, Joko Purnomo²⁾, Setyo Hardono³⁾

^{1), 2), 3)} Balai Geoteknik Terowongan dan Struktur, Direktorat Jenderal Bina Marga
^{1), 2), 3)} Jl. A.H. Nasution No. 264, Bandung 40294
e-mail: ¹⁾n.retno@pu.go.id, ²⁾joko.purnomo@pu.go.id, ³⁾setyo.hardono@pu.go.id
Diterima: 25 Februari 2022; direvisi: 2 Juni 2022; diterbitkan: 30 Juni 2022.

ABSTRAK

Penerapan teknologi LRB pada jembatan di Indonesia belum sepopuler di Negara maju, padahal Indonesia adalah salah satu Negara dengan tingkat frekuensi kejadian gempa paling tinggi. Teknologi LRB lebih populer penerapannya untuk struktur gedung. Namun seiring dengan perkembangan teknologi, LRB sudah banyak diterapkan pada infrastruktur jalan dan jembatan terutama pada ruas jalan tol. Bahkan Indonesia sudah mampu memproduksi LRB yang kualitas dan kuantitasnya tidak kalah dibanding Negara lain. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui peningkatan kinerja jembatan yang menggunakan LRB dalam mengakomodir gaya gempa. Penelitian ini mengkaji hasil monitoring jembatan dengan mengganti sistem perletakkan berupa bearing pad dengan LRB. Pemasangan LRB dilakukan pada jembatan rangka baja dengan panjang 65 meter. Pengujian beban dilakukan dengan 4 metoda pembebanan beban truk 6 roda. Pemasangan sensor akselerometer sebanyak 4 buah (2 arah vertikal jembatan dan 2 arah melintang jembatan) yang di pasang di tengah bentang. Selain pemasangan akselerometer dilakukan pemasangan LVDT dengan arah memanjang jembatan. Berdasarkan hasil analisis diperoleh bahwa nilai frekuensi natural bangunan atas jembatan tidak berubah (yaitu sebesar 4,64 Hz). Terjadi peningkatan kinerja landasan, khususnya waktu redaman dari 7,36 detik menjadi 4,01 detik; redaman dari 2,175% menjadi 3,005%, dan pergeseran δH dari 0,03 mm detik dengan nilai magnitude yang sama.

Kata kunci: jembatan rangka baja, LRB, sensor, frekuensi, redaman

ABSTRACT

The application of LRB technology on bridges in Indonesia is not as popular as in developed countries, even though Indonesia is one of the countries with the highest frequency of earthquake occurrences. LRB technology is more popular in its application to building structures. However, LRB technology has been widely applied to road and bridge infrastructure, especially on toll roads. Even Indonesia has been able to produce LRB with better quality and quantity compared to other countries. This study aims to determine the performance improvement of bridges using LRB in accommodating earthquake forces. This study examines the results of bridge monitoring by replacing the placement system in the form of bearing pads with LRB. Installation of LRB is carried out on a steel frame bridge with a length of 65 meters. This load test is carried out with 4 (four) methods of loading a 6 (six)-wheel truck load. Installation of 4 accelerometer sensors (two vertical bridge directions and two bridge transverse directions) installed in the middle of the span. In addition to the installation of the accelerometer, LVDT was installed in the longitudinal direction of the bridge. Based on the results of the analysis, it is found that the natural frequency value of the upper structure the bridge does not change (that is, 4.64 Hz). There was an increase in the performance of the bridge bearing system, especially the damping time from 7.36 seconds to 4.01 seconds with the same magnitude value.

Keywords: steel truss bridge, LRB, sensor, frequency, damping.

PENDAHULUAN

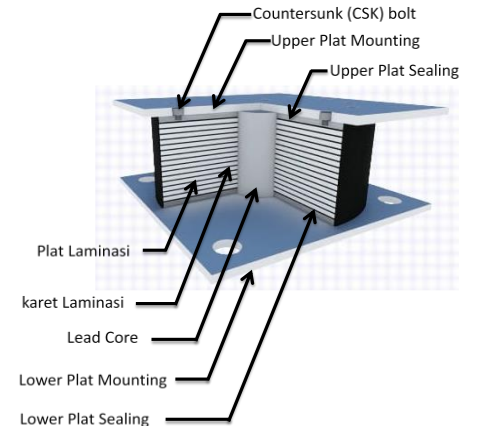
Indonesia termasuk dalam kategori wilayah rawan gempa, dengan aktivitas seismik yang cukup tinggi. Getaran akibat gempa yang besar tersebut dapat menyebabkan kerusakan bangunan infrastruktur dan gedung, sehingga dapat menimbulkan adanya korban jiwa. Oleh sebab itu, dalam perencanaan dan perancangan bangunan di Indonesia harus diperhatikan aspek desain struktur bangunan tahan terhadap gempa. Dengan perkembangan ilmu pengetahuan teknik sipil, salah satunya diperkenalkan adanya pemakaian teknologi *seismic base isolation system* pada bangunan tahan gempa. *Seismic isolation* adalah suatu desain penahan gempa yang digunakan untuk melindungi struktur dari kerusakan akibat gempa dengan mengurangi/membatasi gaya gempa yang masuk pada struktur bagian atas daripada menahan gaya gempa tersebut (UU No.11, 2019). Teknologi tersebut menggunakan konsep mereduksi energi getaran gempa dengan cara menyerap sebagian energi yang akan masuk ke bangunan di atasnya (Sukirno dan Wijanto, 2019)

Salah satu teknologi yang penerapannya pada jembatan masih tergolong baru di Indonesia diantaranya *Lead Rubber Bearing (LRB)*. *LRB* disebut juga *base isolation device*, yaitu landasan jembatan yang berfungsi untuk meredam gaya gempa yang terjadi pada jembatan (Resmon, Koespiadi, dan Sutowijoyo, 2020). *LRB* dirancang menggunakan lapisan elastomer (kompon karet alam) yang diperkuat dengan pelat baja yang direkatkan dengan proses vulkanisasi. *LRB* dapat memiliki satu atau lebih inti timbal silinder. Teknologi *LRB* sudah dapat diproduksi di Negara Indonesia dengan jumlah dan kualitas yang tidak kalah untuk bersaing dengan produk luar negeri. Hal ini menjadi salah satu solusi karya anak bangsa untuk mendukung pembangunan infrastruktur di Indonesia.

Lead mengalami kelelahan pada tegangan yang rendah dan berperilaku sebagai solid elastis-plastis. Kekakuan pasca kelelahan dapat direpresentasikan oleh kekakuan geser lapisan karet (Manalu, 2015). Selain itu, *Lead* memiliki propertis kelelahan yang baik terhadap *cyclic loading* karena dapat memulihkan hampir seluruh propertis mekaniknya tepat setelah terjadinya kelelahan

(Kelly, 2001). Komponen *LRB* ditunjukkan dalam Gambar 1.

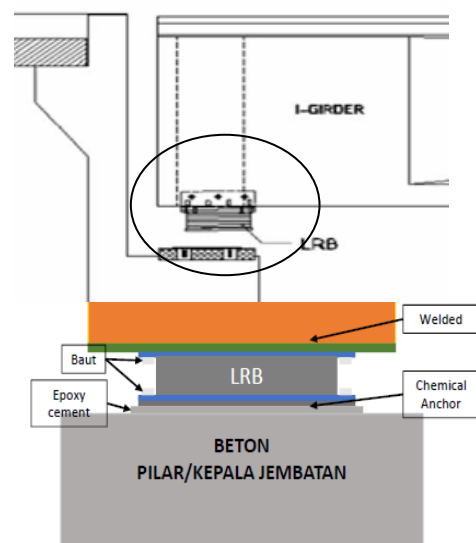
Berdasarkan Gambar 1, *LRB* tersusun atas karet laminasi, pelat baja vulkanisasi, dan inti timbal yang menghubungkan bangunan bawah dan bangunan atas.



Gambar 1. Komponen *LRB*

Penerapan teknologi *LRB* pada beberapa jembatan di Indonesia, diantaranya proyek jalan Tol Layang, Ir. Wiyoto Wiyono, jalan Tol Layang Ujung Pandang (AP Pettarani), jalan Tol Bogor Ring Road, jalan Tol Jakarta Cikampek Elevated, proyek *Light Rail Transit (LRT)* Jabodebek dan proyek Jalan Tol Trans Jawa.

Pemasangan *LRB* pada jembatan ditunjukkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Pemasangan *LRB* antara Struktur Bangunan Atas dan Bangunan Bawah

Berdasarkan Gambar 2, perletakan jembatan *LRB* merupakan bantalan elastomer yang dirancang terdapat satu atau lebih lubang menerus setinggi lapisan elastomer yang diposisikan di bagian tengah secara simetris dan diisi oleh material *lead / plumbum* (Pb) sebagai elemen inti. Sebagai perletakan jembatan, *LRB* diharuskan mampu menahan beban gravitasi dari struktur tanpa penyusutan yang berlebihan dan harus mampu menahan beban horizontal non-seismik seperti beban angin dan pergerakan akibat suhu. Sebagai anti gempa/*seismic isolator* perletakan jembatan *LRB* harus mampu memberikan efek fusi pada keseluruhan struktur dengan memiliki kekakuan horizontal yang rendah saat gempa terjadi, sehingga keseluruhan struktur memiliki *natural frequency* yang rendah diarah horizontal. *LRB* harus dapat mengakomodasi pergerakan horizontal yang besar akibat beban gempa pada saat yang sama harus secara aman menahan beban gravitasi dari struktur. Selain berbagai fungsi diatas, *LRB* harus memiliki level redaman yang tinggi sehingga redaman tersebut cukup untuk membatasi pergerakan horizontal akibat beban gempa, kecuali terdapat tambahan peralatan yang menambah redaman pada struktur. Ginting, T.J. (2019) dalam penelitiannya menyatakan bahwa *LRB*, bila diterapkan pada perletakan jembatan pilar (pier) tinggi akan berbeda dengan penerapan pada pilar (pier) pendek. Perbedaan itu ada pada kekakuan elastik yang dimilikinya. Hubungan paralel antara *LRB* sebagai bearing dengan pilar adalah sama-sama berperan dalam menahan beban lateral pada struktur jembatan, terutama beban gempa. Baik *LRB* maupun pilar (pier) sejatinya mampu memberikan energi redaman dari kekakuan yang dimilikinya. Diharapkan bahwa performa kekuatan jembatan tidak lagi hanya mengandalkan dimensi dan kekakuan yang besar pada pilarnya dalam merespon beban gempa, namun penggunaan *LRB* sebagai perangkat struktur pada perletakan jembatan mampu meningkatkan efektifitas kekakuan pilar dalam memberikan energi redaman saat terjadi gempa.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui peningkatan kinerja jembatan yang menggunakan *LRB* dalam mengakomodir gaya gempa.

HIPOTESIS

Penggunaan *LRB* pada jembatan dapat mengurangi waktu redaman sehingga kinerja getaran bertambah baik. *LRB* tidak meningkatkan kapasitas jembatan, namun pada saat terjadi gempa frekuensi bangunan atas menjadi konsisten.

METODOLOGI

Metode perencanaan dan pemasangan *LRB* mengacu kepada standar EN 15129:2018 (*Anti-seismic devices*), AASHTO GSID:2014 (*Guide Specifications for Seismic Isolation Design*) persyaratan dalam spesifikasi Skh-1.7.47-2021 dan standar lainnya.

Pengujian *mockup LRB* ini dilakukan dengan 2 tahapan yaitu tahap 1 dilakukan sebelum penggantian elastomer jembatan dan tahap 2 dilakukan setelah penggantian elastomer jembatan dengan tipe *LRB*. Pengujian ini diharapkan dapat melihat perubahan perilaku dinamis dari struktur jembatan dan perilaku pergerakan arah melintang dari jembatan, baik sebelum penggantian elastomer dengan setelah dilakukan penggantian elastomer jembatan dengan tipe *LRB*.

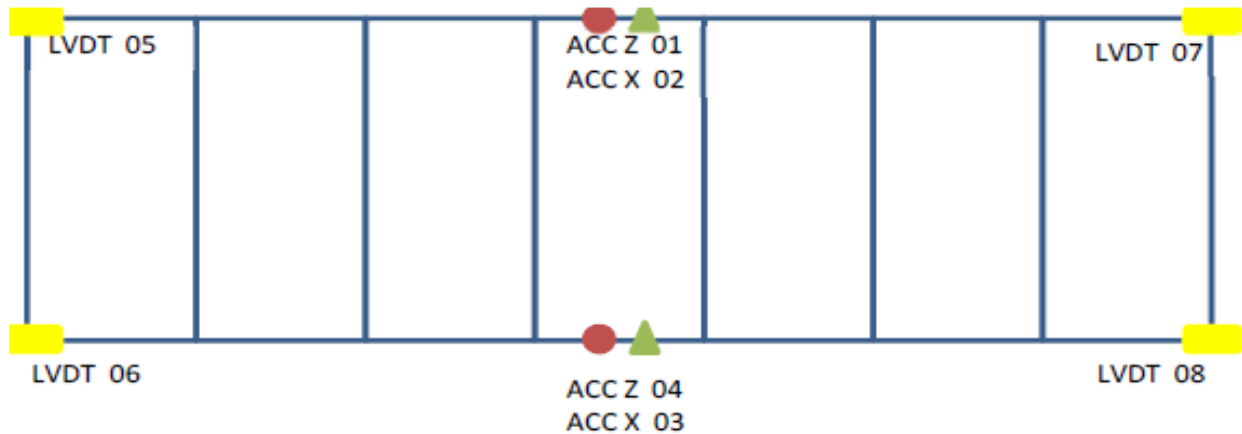
Pengujian ini dilakukan dengan 4 metoda pembebanan dengan beban truk 6 roda. Metode pembebanan terdiri dari:

1. Uji rem di atas kepala jembatan dengan menggunakan skema truk melintas dengan kecepatan 30 km/jam yang kemudian melakukan pengereman mendadak di atas landasan kepala jembatan (tes 1).
2. Uji rem di atas pilar jembatan dimana truk melintas dengan kecepatan 30 km/jam yang kemudian melakukan pengereman mendadak di atas landasan pilar jembatan (tes 2).
3. Uji rem di tengah bentang jembatan adalah truk melintas dengan kecepatan 30 km/jam yang kemudian melakukan pengereman mendadak di tengah bentang jembatan (tes 3).
4. Gaya rem sebagai simulasi gempa horisontal.

Pada pengujian ini dilakukan pemasangan sensor akselerometer sebanyak 4 buah (2 arah vertikal Jembatan dan 2 arah melintang jembatan) yang di pasang di tengah bentang. Selain pemasangan akselerometer dilakukan pemasangan *Linear Variable differential transformer (LVDT)* dengan arah memanjang

jembatan, yang berfungsi sebagai mengukur nilai deformasi arah memanjang jembatan akibat beban truk, yang melintas (Gambar 3).

Pengukuran beban kendaraan dilakukan dengan mengukur dimensi truk dan menimbang berat truk secara aktual (Tabel 1).



Gambar 3. Penempatan sensor akselerometer dan LVDT

Tabel 1. Dimensi dan berat truk

No.	Truk	Dimensi (m)		Berat (kg)		Total
		Jarak As-As	Lebar As	Depan	Belakang	
1	Sebelum penggantian	1,45	3,4	4,1	12,38	16,48
2	Setelah penggantian	1,45	3,4	3,7	11,38	15,08

HASIL DAN ANALISIS

Dari hasil pengujian run-rem dilakukan pemantauan terhadap pergerakan memanjang jembatan yang dilakukan 3 kombinasi, yaitu

truk rem di atas tumpuan abutmen (tes 1), truk rem di atas tumpuan pilar (tes 2), dan truk rem di tengah bentang (tes 3). Tabel 2 menunjukkan hasil respon yang terekam oleh LVDT.

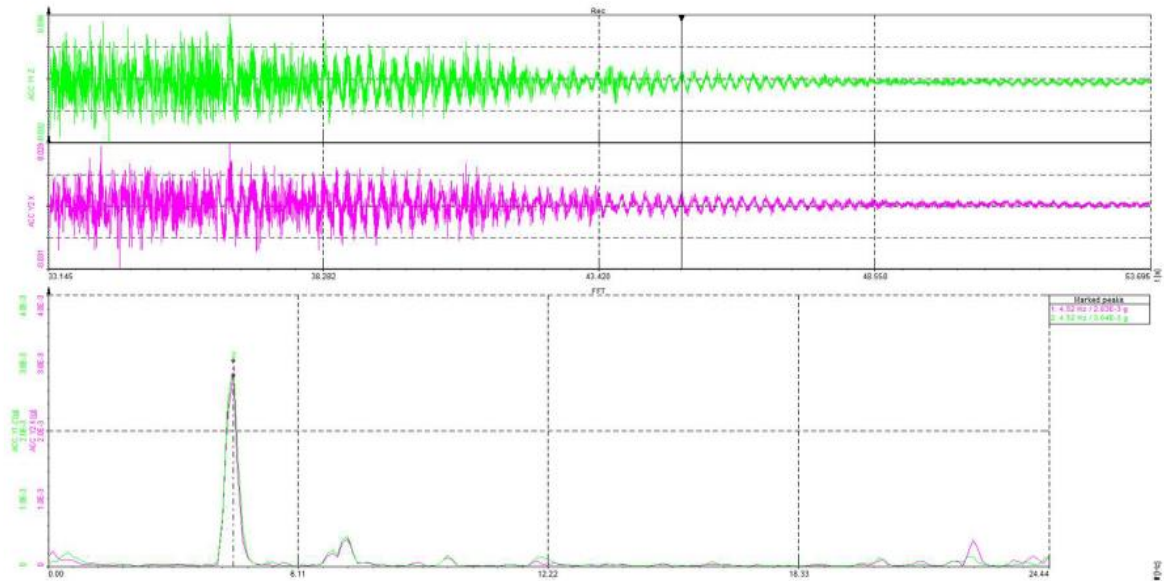
Tabel 2. Pergerakan maksimum defleksi pada perletakan

	Tes 1				Tes 2				Tes 3			
	LVDT AY1	LVDT AY2	LVDT AY2	LVDT AY2	LVDT AY2	LVDT AY2	LVDT PY1	LVDT PY1	LVDT AY2	LVDT AY2	LVDT PY1	LVDT PY1
Sebelum penggantian <i>LRB</i>												
Uji 1	0,21	0,23	0,03	0,03	0,12	0,44	0,18	0,17	0,32	0,64	0,07	0,03
Uji 2	0,23	0,23	0,01	0,01	0,11	0,45	0,23	0,24	0,14	0,28	0,01	0,01
Uji 3	0,28	0,23	0,03	0,05	0,23	0,45	0,14	0,14	0,33	0,57	0,18	0,06
Setelah penggantian <i>LRB</i>												
Uji 1	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,00	0,00	0,02	0,00
Uji 2	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00	0,15	0,00	0,03	0,00	0,03
Uji 3	-	-	-	-	0,00	0,03	0,00	0,17	0,00	0,03	0,03	0,00

Sumber : Vendor *LRB* (2021)

Berdasarkan Tabel 2, terlihat bahwa pergerakan jembatan dapat direduksi oleh *LRB*, meskipun terjadi pergerakan, hanya ke salah satu sisi di perletakan saja. *Running test* dilakukan untuk mengetahui respon getaran dari struktur akibat

adanya kendaraan yang melintas. Gambar 4 menunjukkan hasil nilai getaran frekuensi natural berdasarkan *running test*. Sumbu Y dan X masing-masing menunjukkan nilai akselerasi dan waktu (detik).



Gambar 4. Grafik respon getaran struktur yang terekam

Berdasarkan Gambar 4, nilai respon getaran struktur yang terekam ditunjukkan dalam Tabel 4.

Tabel 3. Nilai frekuensi natural jembatan

No.	Frekuensi (Hz)		Redaman (%)	Periode (detik)
	Vertikal	Horisontal		
Sebelum penggantian <i>LRB</i>				
Uji 1	4,64	4,64	2,06	7,36
Uji 2	4,64	4,64	2,29	7,53
Setelah penggantian <i>LRB</i>				
Uji 1	4,64	4,64	3,13	4,09
Uji 2	4,64	4,64	2,88	4,01

Pada Tabel 3, periode waktu getar maksimum sebelum penggantian dan setelah penggantian *LRB* berturut-turut adalah 7,53 detik dan 4,09 detik. Terjadi pengurangan periode getar dengan pemasangan *LRB* sebesar 45,68%. Nilai frekuensi natural jembatan sebelum dan sesudah penggantian bearing pad dengan *LRB* berdasarkan *running test* sebesar 4,64 Hz. Pemeriksaan visual juga dilakukan sebelum dan setelah pengujian yang bertujuan untuk mengetahui jika terjadi retakan pada

sambungan lem. Gambar 5 menunjukkan kondisi perletakan pada pilar jembatan.

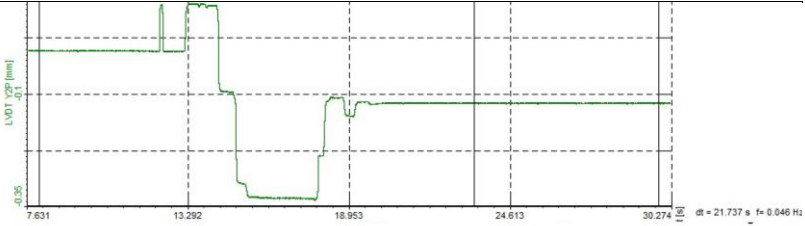

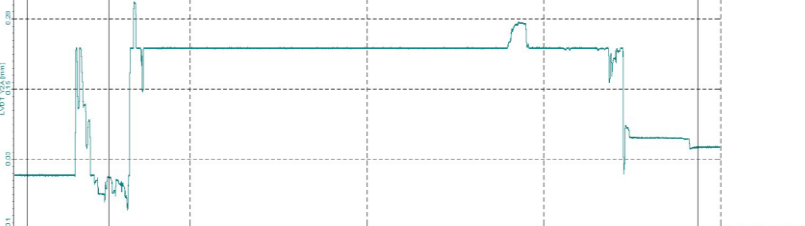
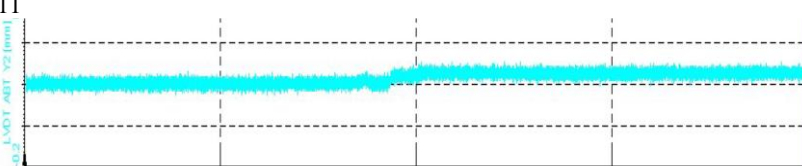
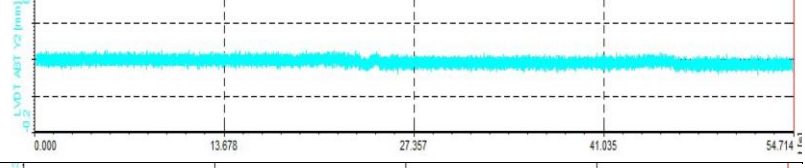
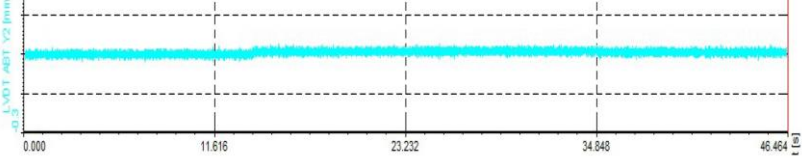


Gambar 5. Kondisi *LRB* pada pilar jembatan

PEMBAHASAN

Kekakuan *LRB* pada bangunan bawah sangat menentukan perilaku struktur secara keseluruhan dalam memikul beban rem kendaraan (beban horisontal). Sedangkan beban vertikal kendaraan langsung disalurkan kolom ke fondasi jembatan. Pengukuran pergerakan maksimum arah horisontal sebelum dan sesudah pergantian *LRB* pada kepala jembatan, pilar, dan bentang tengah jembatan ditunjukkan dalam dan Tabel 4.

Tabel 4. Nilai pergerakan horizontal pada elemen jembatan

Sebelum pergantian <i>LRB</i>			Keterangan
Komponen	$\Delta H_{maks.}$ (mm)	Amplitudo (mm)	
Pilar jembatan	0,28	0,45	
Pilar jembatan	0,45	0,45	
Kepala Jembatan	0,36	0,36	
Setelah pergantian <i>LRB</i>			
Kepala jembatan	0,17		
Kepala jembatan	0,18		
Kepala Jembatan	0,03		

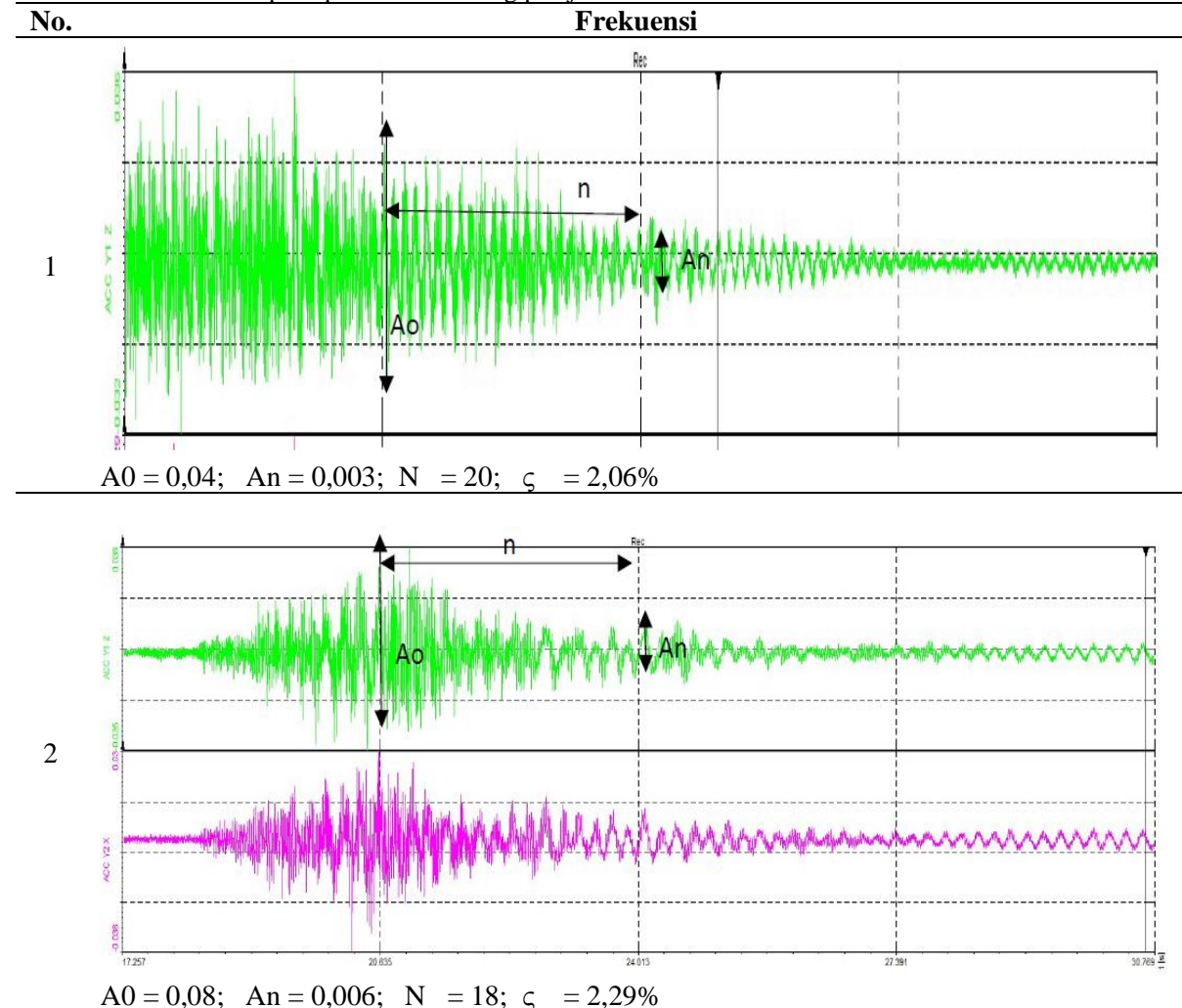
Tabel 4 menunjukkan pergerakan horizontal pengujian *running test* yang dilakukan di atas kepala jembatan, pilar, dan tengah bentang sebelum dan sesudah penggantian *LRB*. Sumbu Y menunjukkan besarnya pergerakan (mm) dari LVDT yang terpasang, sedangkan sumbu X merupakan parameter waktu (detik). Berdasarkan Tabel 4, pergeseran maksimum

arah horizontal pada elemen kepala jembatan, pilar, dan tengah bentang bila menggunakan *bearing pad* berturut-turut sebesar 0,28 mm, 0,45 mm, dan 0,36 mm. Pada elemen jembatan tersebut, terdapat nilai amplitudo dari hasil pengukuran sebesar 0,45 mm; 0,45 mm; dan 0,36 mm. Setelah perletakan *bearing pad* diganti dengan *LRB*, maka besarnya pergeseran

horizontal pada elemen kepala jembatan, pilar, dan tengah bentang berturut-turut menjadi 0,17 mm; 0,18 mm; dan 0,03 mm dengan nilai amplitudo adalah 0 (nol). Pengurangan pergeseran arah horizontal setelah perletakan

pada pilar diganti dengan *LRB* rata-rata sebesar 91,7%. Besarnya frekuensi yang diukur pada jembatan saat menggunakan perletakan *bearing pad* dengan setelah perletakan diganti dengan *LRB* ditunjukkan dalam Tabel 5 dan Tabel 6.

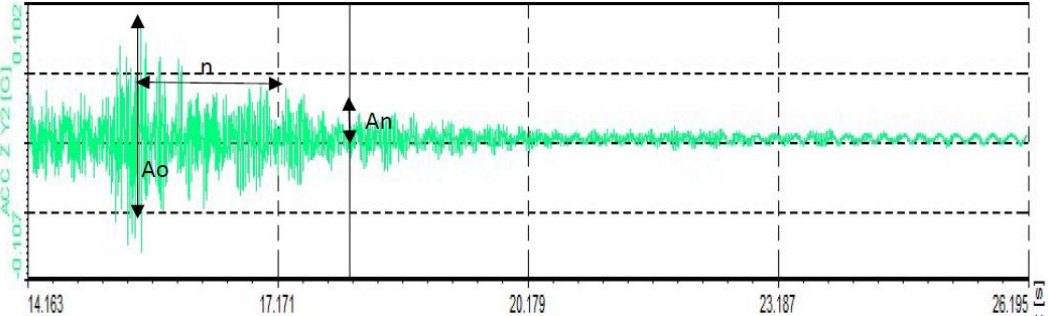
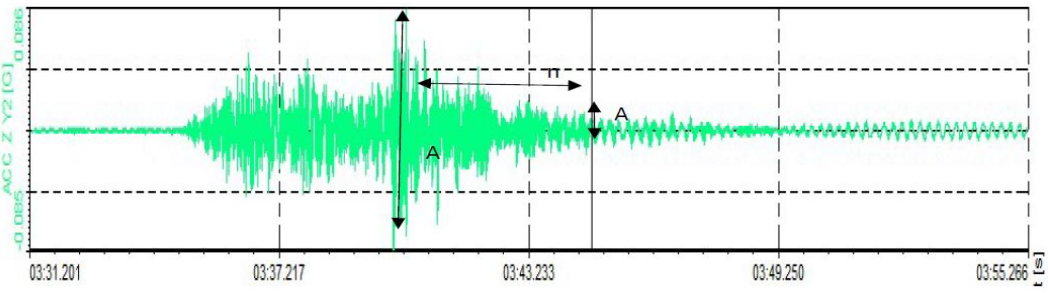
Tabel 5. Nilai frekuensi pada perletakan bearing pad jembatan



Tabel 5 menunjukkan nilai frekuensi pada perletakan *bearing pad*. Berdasarkan Tabel 5, untuk gambar no.1, besarnya amplitudo pada periode awal sebesar 0,04 dan pada periode ke 20 sebesar 0,003 sehingga didapat nilai ekuivalen damping ratio (ζ) 2,06%. gambar no. 2 pada tabel 5 besarnya amplitudo pada periode

awal sebesar 0,08 dan pada periode ke 20 sebesar 0,006 sehingga didapat nilai ekuivalen damping ratio (ζ) 2,29%. Nilai ekuivalen rata-rata damping ratio (ζ) sebesar 2,175%. Tabel 6 menunjukkan nilai frekuensi pada perletakan *LRB*.

Tabel 6. Nilai frekuensi pada perletakan *LRB* jembatan

No.	Frekuensi
1	 <p>$A_0 = 0,173$; $A_n = 0,005$; $N = 18$; $\zeta = 3,13\%$</p>
2	 <p>$A_0 = 0,174$; $A_n = 0,008$; $N = 17$; $\zeta = 2,88\%$</p>

Tabel 6 menunjukkan nilai frekuensi pada perletakan *LRB*. Berdasarkan Tabel 6, untuk gambar no.1, besarnya amplitudo pada periode awal sebesar 0,173 dan pada periode ke 18 sebesar 0,005 sehingga didapat nilai ekuivalen damping ratio (ζ) 3,13%. gambar no. 2 pada table 6 besarnya amplitudo pada periode awal sebesar 0,174 dan pada periode ke 17 sebesar 0,008 sehingga didapat nilai ekuivalen *damping ratio* (ζ) 2,88%. Nilai ekuivalen rata-rata *damping ratio* (ζ) sebesar 3,005%. Dari Tabel 5 dan Tabel 6, berdasarkan AASHTO (2014) nilai ekuivalen *damping ratio* (ζ) diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\zeta = \frac{1}{n} \frac{1}{\{2\pi\}} \ln \left\{ \frac{A_0}{A_n} \right\} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan: A_0 adalah nilai amplitudo pada periode awal; A_n adalah nilai amplitudo pada periode ke-n. Berdasarkan persamaan (1) tersebut, nilai ekuivalen *damping ratio* (ζ) rata-rata pada jembatan dengan menggunakan *bearing pad* sebesar 2,175%. Sedangkan setelah diganti dengan *LRB* menjadi 3,005%.

Nilai frekuensi natural bangunan atas jembatan tidak berubah (yaitu sebesar 4,64 Hz). Terjadi peningkatan kinerja landasan, khususnya waktu redaman dari 7,36 detik menjadi 4,01 detik dengan nilai magnitude yang sama.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

LRB yang dipasang pada sistem perletakan dapat mereduksi pergerakan dan periode waktu getar akibat beban. Pengurangan periode waktu getar sebesar 45%. Nilai ekuivalen *damping ratio* (ζ) rata-rata pada jembatan dengan menggunakan *bearing pad* sebesar 2,175%. Sedangkan setelah diganti dengan *LRB* menjadi 3,005%. Nilai frekuensi natural bangunan atas jembatan tidak berubah (yaitu sebesar 4,64 Hz). Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan diperoleh bahwa penggunaan *LRB* merupakan salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk memberikan proteksi struktur terhadap gempa karena dapat meningkatkan perioda alami struktur dan memberikan tambahan redaman. Kedua hal tersebut menyebabkan kerusakan struktur yang

terjadi dapat direduksi atau dihindari karena energi gempa kuat yang masuk ke struktur akan didisipasikan oleh *LRB*.

LRB lazim digunakan untuk retrofit tahan gempa pada jembatan lama.

Saran

Diperlukan kajian lanjutan untuk mengetahui frekuensi kekakuan bangunan bawah pada pilar jembatan yang dipasang *LRB* dengan menempatkan alat perekam getaran kecil/mikro di puncak pilar yaitu disamping perletakan.

Diperlukan monitoring yang berkesinambungan dari penerapan teknologi *LRB* untuk mengetahui peningkatan kinerja jembatan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada tim kliring teknologi dan vendor *LRB* yang sudah memberikan saran dan masukan atas penerapan teknologi *LRB*.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO. GSID:2014. *Guide Specifications for Seismic Isolation Design*. Washington. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- European Standards (EN)*. 2018. *BS EN 15129:2018 Anti-seismic devices*. London: EN.
- Ginting, T. J. 2019. *Efektifitas Lead Rubber Bearing (LRB) pada Jembatan Beton Bentang Menerus*, tesis Institut Teknologi Bandung (2019).
- Kelly, T. E. 2001. *Base Isolation of Structures-Design Guidelines*. Wellington, New Zealand. Holmes Consulting Group, Ltd.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR). 2021. *Laporan kegiatan kliring teknologi bidang geoteknik dan struktur*. Jakarta: PUPR.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR). 2021. *Spesifikasi Khusus Interim Isolator Gempa Menggunakan Bantalan karet Inti Timbal (Lead Rubber*

Bearing, LRB) untuk Jembatan, Skh-1.7.47-2021. Jakarta: PUPR.

- Resmon, K. D., Koespiadi, dan Sutowijoyo, H. 2020. *Penggunaan Lead Rubber Bearing (LRB) Sebagai Desain Apartemen 25 Lantai Berbasis Gaya, dengan Special Momen Frame (SMF)*. Jurnal CIVILLA, 5(2): 430-435.
- Manalu, I. 2015. *Studi penggunaan LRB sebagai base isolator dengan model jembatan Kutai Kartanegara pada zona gempa di Indonesia* Tugas Akhir Institut Sepuluh Nopember, 2015.
- Sukirno dan Wijanto. 2019. *Analisis Desain Lead Rubber Bearings pada Bangunan Struktur Baja Enam Lantai*. Prosiding Seminar Intelektual Muda #1, Inovasi Ilmu Pengetahuan, Teknologi Dan Seni Dalam Perencanaan dan Perancangan Lingkungan Terbangun, 11 April 2019: 255-260.
- Undang-undang (UU) No. 11 tahun 2019. 2019. *Tentang Sistem Nasional Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, Jakarta.