

Pengaruh Rasio Diameter Inti High-Damping Rubber terhadap Kekakuan Horizontal dan Rasio Redaman Isolator Elastomerik pada Regangan Geser 150%

Dimas Rizky Tanaya ^{1✉}, Ahmad Basshofi Habieb ²

(1,2) Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia

Abstract: Lead cores are commonly used in seismic isolators to enhance energy dissipation; however, their toxicity and environmental impact have encouraged the development of lead-free alternatives. This study evaluates the effect of the High-Damping Rubber (HDR) core diameter ratio on the horizontal stiffness and equivalent damping ratio of elastomeric seismic isolators subjected to 150% shear strain. Three specimen configurations were examined: A1 without an HDR core, B1 with a 40 mm HDR core, and C1 with an 80 mm HDR core. All specimens had an outer diameter of 200 mm and consisted of eleven 4 mm rubber layers reinforced by ten 2 mm steel plates. Displacement-controlled cyclic lateral tests were conducted. Horizontal stiffness was calculated from the maximum and minimum force-displacement responses, while the equivalent damping ratio was obtained from the hysteresis-loop area. The horizontal stiffness values of A1, B1, and C1 were 0.61, 0.57, and 0.48 kN/mm, respectively, and their equivalent damping ratios were 6.89%, 9.18%, and 10.27%. Compared with A1, the stiffness of B1 and C1 decreased by 6.56% and 21.31%, whereas their damping ratios increased by 33.24% and 49.06%. Increasing the HDR core diameter ratio produced a more flexible isolator with improved damping performance.

Article history:

Received: 12 May 2026

Revised: 30 June 2026

Accepted: 03 July 2026

Published: 06 July 2026

Keyword:

Seismic isolator, high-damping rubber, horizontal stiffness, damping ratio, hysteresis loop

Abstrak: Penggunaan inti timbal pada isolator seismik dapat meningkatkan kemampuan disipasi energi, tetapi menimbulkan permasalahan lingkungan dan kesehatan sehingga diperlukan alternatif material tanpa timbal. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh rasio diameter inti High-Damping Rubber (HDR) terhadap kekakuan horizontal dan rasio redaman ekuivalen isolator elastomerik pada regangan geser 150%. Tiga konfigurasi benda uji digunakan, yaitu A1 tanpa inti HDR, B1 dengan inti HDR berdiameter 40 mm, dan C1 dengan inti HDR berdiameter 80 mm. Seluruh benda uji memiliki diameter luar 200 mm serta terdiri atas 11 lapisan karet setebal 4 mm dan 10 pelat baja setebal 2 mm. Pengujian dilakukan menggunakan pembebanan lateral siklik berbasis perpindahan. Kekakuan horizontal dihitung dari respons gaya-perpindahan maksimum dan minimum, sedangkan rasio redaman ekuivalen ditentukan dari luas kurva histeresis. Kekakuan horizontal A1, B1, dan C1 masing-masing sebesar 0,61; 0,57; dan 0,48 kN/mm, sedangkan rasio redamannya sebesar 6,89%; 9,18%; dan 10,27%. Dibandingkan A1, kekakuan B1 dan C1 turun sebesar 6,56% dan 21,31%, sementara rasio redamannya meningkat sebesar 33,24% dan 49,06%. Peningkatan rasio diameter inti HDR menghasilkan isolator yang lebih fleksibel dengan kemampuan redaman yang lebih tinggi.

Kata kunci:

isolator seismik; high-damping rubber; kekakuan horizontal; rasio redaman ekuivalen; kurva histeresis

This is an open-access article under the [CC-BY-SA License](#).



How to cite: Tanaya, D. R., & Habieb, A. B. (2026). Pengaruh Rasio Diameter Inti High-Damping Rubber terhadap Kekakuan Horizontal dan Rasio Redaman Isolator Elastomerik pada Regangan Geser 150%. *RESWARA: Jurnal Riset Ilmu Teknik*, 4(3), 270-278. <https://doi.org/10.70716/reswara.v4i3.524>

PENDAHULUAN

Isolasi seismik merupakan salah satu strategi proteksi pasif yang digunakan untuk mengurangi transmisi gaya gempa dari fondasi ke struktur atas. Penerapannya menjadi semakin penting setelah gempa Northridge 1994, Hyogoken-Nanbu 1995, dan Chi-Chi 1999 menunjukkan besarnya risiko kerusakan pada bangunan dan infrastruktur. Sistem kontrol seismik dapat dikelompokkan menjadi sistem pasif, semiaktif, aktif, dan hibrida; di antara kelompok tersebut, isolasi dasar banyak digunakan karena mekanismenya relatif sederhana dan tidak memerlukan sumber energi eksternal (Feng et al., 2006; Elias & Matsagar, 2017).

Isolator elastomerik bekerja dengan menyediakan kekakuan vertikal yang tinggi untuk menopang beban struktur dan fleksibilitas lateral untuk memperpanjang periode getar struktur. Beberapa tipe yang umum digunakan adalah lead-rubber bearing, friction-pendulum bearing, dan high-damping rubber bearing (Kelly & Konstantinidis, 2011). Pada lead-rubber bearing, inti timbal berkontribusi terhadap gaya karakteristik dan disipasi energi melalui deformasi plastis berulang.

Meskipun efektif, penggunaan timbal menimbulkan perhatian terhadap toksisitas, dampak lingkungan, dan pembatasan regulasi. High-Damping Rubber (HDR) menawarkan alternatif tanpa timbal karena mampu menghasilkan redaman melalui respons viskoelastik material. Namun, penggunaan HDR pada seluruh volume bantalan dapat memengaruhi kekakuan, stabilitas, biaya produksi, dan ketahanan jangka panjang. Salah satu pendekatan yang dapat dikaji adalah menggabungkan badan Low-Damping Rubber (LDR) dengan inti HDR terpusat.

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa konfigurasi inti sangat memengaruhi respons isolator. Ozkaya et al. (2011) meningkatkan disipasi energi bantalan melalui pengisian rongga pusat dengan bola baja. Rahnavard dan Thomas (2019) secara numerik menunjukkan bahwa jumlah, ukuran, dan posisi inti karet dapat mengubah kekakuan dan respons mekanis isolator. Ghrewati et al. (2023) melaporkan bahwa penggantian inti timbal dengan inti karet berdimensi sama meningkatkan kekakuan horizontal sebesar 22%, tetapi menurunkan gaya horizontal dan stabilitas keseluruhan sekitar 5%.

Walaupun demikian, data eksperimental mengenai isolator berlapis dengan badan LDR dan inti HDR terpusat pada regangan geser besar masih terbatas. Kebaruan penelitian ini terletak pada evaluasi eksperimental tiga isolator dengan dimensi luar dan susunan laminasi yang sama, tetapi dengan rasio diameter inti HDR yang berbeda, yaitu 0%, 20%, dan 40% terhadap diameter luar isolator. Pengendalian geometri luar memungkinkan perubahan respons mekanis dikaitkan secara lebih langsung dengan konfigurasi inti.

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh rasio diameter inti HDR terhadap gaya lateral, kekakuan horizontal, bentuk kurva histeresis, dan rasio redaman ekuivalen pada regangan geser 150%. Hasil penelitian digunakan untuk menjelaskan keseimbangan antara fleksibilitas lateral dan kemampuan disipasi energi sebagai dasar awal pengembangan isolator elastomerik tanpa inti timbal.

METODE PENELITIAN

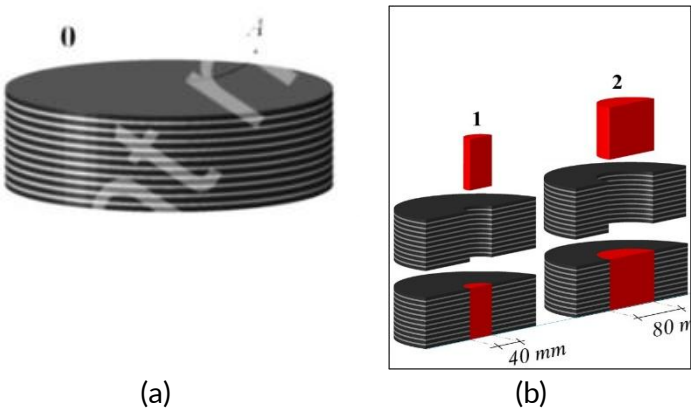
Penelitian eksperimental dilakukan pada tiga konfigurasi isolator elastomerik, yaitu A1, B1, dan C1. Seluruh benda uji memiliki geometri luar dan susunan laminasi yang sama sehingga pengaruh perubahan inti dapat dievaluasi tanpa dipengaruhi oleh perbedaan dimensi global. A1 merupakan isolator berbahan LDR tanpa inti HDR, B1 menggunakan inti HDR berdiameter 40 mm, dan C1 menggunakan inti HDR berdiameter 80 mm.

Setiap isolator memiliki diameter luar $D = 200$ mm dan tinggi total $h = 64$ mm, terdiri atas 11 lapisan karet dengan ketebalan tiap lapisan $tr = 4$ mm serta 10 pelat baja dengan ketebalan $ts = 2$ mm. Total ketebalan karet, Tr , adalah 44 mm. Luas penampang kotor sebesar $31.415,92 \text{ mm}^2$, rasio aspek $R = D/h$ sebesar 3,12, dan faktor bentuk $S = D/(4tr)$ sebesar 12,50. Parameter geometris lengkap ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik geometris isolator elastomerik dan variasi inti HDR

Spesimen	h	D	A	tr	ts	nr	ns	S	R	dc/D	dc
	[mm]	[mm]	[mm ²]	[mm]	[mm]	[-]	[-]	[-]	[-]	[%]	[mm]
A1										0	0
B1	64,0	200	31.415,92	4	2	11	10	12,50	3,12	20	40
C1										40	80

Variasi inti dinyatakan sebagai rasio diameter inti terhadap diameter luar isolator, dc/D . Nilai 20% dan 40% pada B1 dan C1 merupakan rasio diameter, bukan rasio volume. Karena tinggi inti dianggap sama dengan tinggi bagian karet, fraksi volume geometris inti terhadap volume silinder luar masing-masing adalah 4% dan 16%. Diameter 40 mm dipilih untuk mewakili modifikasi inti berukuran kecil, sedangkan diameter 80 mm digunakan untuk memberikan perubahan geometri yang lebih jelas tetapi tetap dapat diproduksi dengan cetakan dan proses vulkanisasi yang tersedia.



Gambar 1. (a) isolator tanpa inti HDR dan (b) isolator dengan inti HDR

Dua jenis kompon karet digunakan, yaitu LDR sebagai material utama dan HDR sebagai material inti. LDR dipilih untuk mempertahankan fleksibilitas dan kestabilan dasar isolator, sedangkan HDR digunakan untuk meningkatkan disipasi energi. Parameter material mengacu pada model hiperelastik Yeoh dan model viskoelastik Maxwell serta dikaitkan dengan hasil karakterisasi eksperimental yang dirangkum pada Tabel 2 (Yeoh, 1993; Chen, 2000; Pianese et al., 2023).

Karakterisasi material dilakukan melalui pembebanan geser siklik pada lembaran karet. Modulus geser dan rasio redaman dievaluasi dari siklus deformasi stabil. Hasil eksperimen menunjukkan modulus geser LDR dan HDR yang relatif berdekatan, yaitu 0,46 MPa dan 0,455 MPa, tetapi rasio redaman HDR lebih tinggi, yaitu 9,27% dibandingkan 4,49% pada LDR. Perbedaan utama kedua material dengan demikian terletak pada kemampuan redaman, bukan pada modulus geser awal.

Kekakuan horizontal efektif, energi disipasi, energi elastik tersimpan, rasio redaman ekuivalen, dan modulus geser dihitung menggunakan Persamaan (3) sampai Persamaan (7). Seluruh konfigurasi dianalisis menggunakan siklus stabil yang sama agar hasilnya dapat dibandingkan secara konsisten.

$$k_{h,r} = \frac{F_{max} - F_{min}}{\Delta_{max} - \Delta_{min}} \quad (3)$$

$$\xi = \frac{W_d}{4 \cdot \pi \cdot W_s} \quad (4)$$

$$W_s = \frac{1}{2} \cdot k_{h,r} \cdot \Delta^2 \quad (5)$$

$$\Delta = \frac{\Delta_{max} + \Delta_{min}}{2} \quad (6)$$

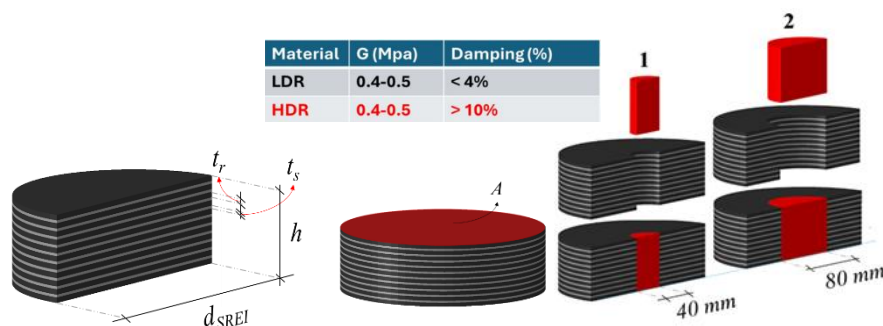
$$G = k_{h,r} \cdot \left(\frac{t}{a \cdot b} \right) \quad (7)$$

Pada persamaan tersebut, k_h merupakan kekakuan horizontal efektif; F_{max} dan F_{min} adalah gaya lateral maksimum dan minimum; Δ_{max} dan Δ_{min} adalah perpindahan maksimum dan minimum; ED adalah energi yang didisipasikan, yaitu luas daerah yang dilingkupi kurva histeresis; ES adalah energi elastik tersimpan; ξ_{eq} adalah rasio redaman ekuivalen; G adalah modulus geser; A adalah luas penampang; dan T_r adalah total ketebalan lapisan karet.

Tabel 2. Karakteristik material karet dasar

Material	Parameter model		Hasil eksperimen	
	G	ξ	G	ξ
	[MPa]	[%]	[MPa]	[%]
LDR	0.42	3.29	0.46	4.49
HDR1	0.74	7.94	0.455	9.27

Benda uji dibuat sebagai laminated rubber bearing dengan badan utama LDR dan, untuk B1 serta C1, inti HDR silindris yang ditempatkan di pusat penampang. Pelat baja internal berfungsi membatasi deformasi lateral setiap lapisan karet dan meningkatkan kekakuan vertikal, sedangkan lapisan karet memungkinkan deformasi geser. Seluruh benda uji memiliki dimensi luar, jumlah lapisan, dan ketebalan laminasi yang sama; satu-satunya variabel geometri adalah diameter inti HDR.

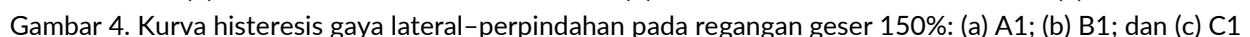


Gambar 2. Geometri dan konfigurasi benda uji isolator elastomerik

Gaya lateral direkam menggunakan load cell berkapasitas 7000 ton dengan ketelitian hingga 1 μm , sedangkan perpindahan diukur dengan data logger dengan ketelitian hingga 1 μm . Data direkam pada frekuensi akuisisi 0,5 Hz. Kondisi temperatur pengujian adalah 25°C sampai dengan 30°C. Jika setiap konfigurasi hanya memiliki satu benda uji, hasil penelitian harus diperlakukan sebagai perbandingan eksperimental awal dan bukan sebagai pengulangan statistik independen.



Respons gaya lateral-perpindahan, kekakuan horizontal, dan rasio redaman ekuivalen ketiga konfigurasi dianalisis pada regangan geser 150%. Kurva histeresis disajikan pada Gambar 4, sedangkan ringkasan nilai mekanis ditunjukkan pada Tabel 3 dan Gambar 5.



Gambar 4 menunjukkan respons gaya lateral-perpindahan ketiga benda uji pada regangan geser 150%. Seluruh spesimen membentuk kurva histeresis tertutup dan mempertahankan pola respons siklik hingga perpindahan maksimum. Gaya lateral terbesar terjadi pada A1, diikuti B1 dan C1, yang menunjukkan bahwa peningkatan diameter inti HDR menurunkan tahanan lateral pada tingkat perpindahan yang sama.

Pada A1, gaya maksimum dan minimum berada di sekitar +40 kN dan -40 kN. B1 menghasilkan gaya sekitar +35 kN dan -35 kN, sedangkan C1 berada di sekitar +30 kN dan -30 kN. Tren tersebut sejalan dengan nilai kekakuan horizontal efektif, karena gaya yang dibutuhkan untuk mencapai perpindahan target menjadi lebih kecil ketika rasio diameter inti HDR meningkat.

Kekakuan horizontal A1, B1, dan C1 masing-masing sebesar 0,61; 0,57; dan 0,48 kN/mm. Dibandingkan A1, kekakuan B1 menurun sebesar 6,56%, sedangkan C1 menurun sebesar 21,31%. Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan inti HDR menghasilkan respons lateral yang lebih fleksibel, dengan pengaruh yang semakin nyata pada diameter inti 80 mm.

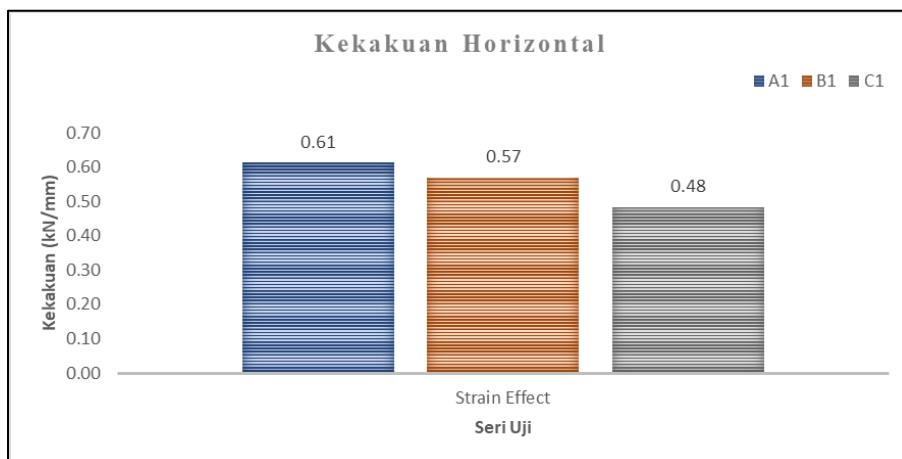
Sebaliknya, rasio redaman ekuivalen meningkat dari 6,89% pada A1 menjadi 9,18% pada B1 dan 10,27% pada C1. Peningkatan terhadap A1 masing-masing sebesar 33,24% dan 49,06%. Dengan demikian, inti HDR meningkatkan energi histeretik yang didisipasikan relatif terhadap energi elastik yang tersimpan dalam isolator.

Interpretasi kemampuan redaman tidak dapat didasarkan hanya pada luas absolut loop yang terlihat pada grafik. Spesimen dengan gaya lebih besar dapat memiliki luas loop absolut yang besar, tetapi rasio redaman ekuivalennya belum tentu lebih tinggi karena nilai tersebut dinormalisasi terhadap energi elastik tersimpan. Oleh sebab itu, perbandingan kinerja redaman pada penelitian ini didasarkan pada ξ_{eq} , bukan semata-mata pada tampilan visual kurva.

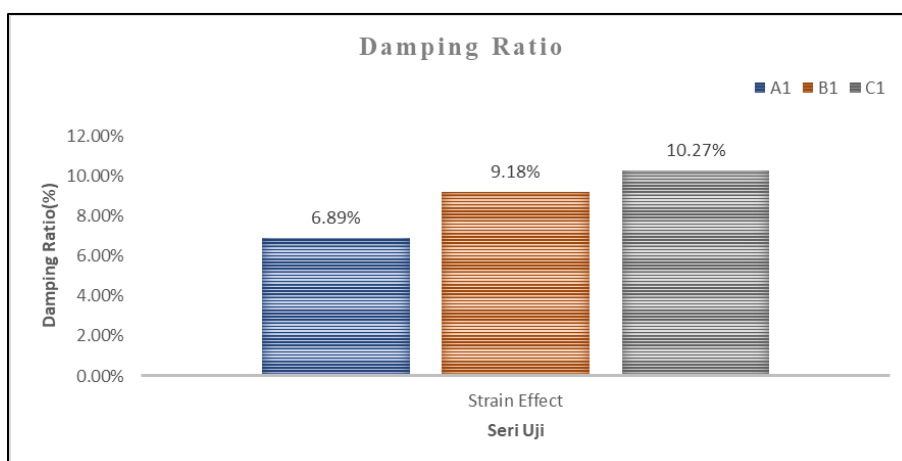
Penurunan kekakuan tidak disebabkan oleh terbentuknya rongga karena bagian tengah isolator tetap diisi HDR. Mekanisme yang lebih mungkin adalah perubahan distribusi regangan dan tegangan pada kombinasi LDR-HDR, respons nonlinier material pada regangan besar, serta interaksi pada antarmuka inti dan badan isolator. Karena modulus geser hasil eksperimen LDR dan HDR relatif berdekatan, pengamatan deformasi lokal atau analisis elemen hingga masih diperlukan untuk mengidentifikasi mekanisme dominan secara lebih pasti.

Tren ini berbeda dari Ghrewati et al. (2023), yang melaporkan peningkatan kekakuan setelah inti timbal diganti dengan inti karet. Perbedaan tersebut dapat dipengaruhi oleh material acuan, ukuran inti, konfigurasi laminasi, proses manufaktur, dan kondisi pembebanan yang tidak sama. Hasil penelitian ini mendukung kesimpulan Rahnavard dan Thomas (2019) bahwa respons isolator berinti karet sangat sensitif terhadap sifat material dan konfigurasi geometrinya.

C1 memberikan rasio redaman tertinggi, tetapi juga mengalami penurunan kekakuan terbesar. B1 menghasilkan perubahan yang lebih moderat, yaitu peningkatan redaman dengan penurunan kekakuan yang relatif kecil. Namun, konfigurasi optimum belum dapat ditetapkan hanya dari dua parameter tersebut; evaluasi perpindahan maksimum, kestabilan tekan, kapasitas tekuk, kelelahan siklik, dan pengulangan benda uji tetap diperlukan.



(a)



(b)

Gambar 5. Perbandingan (a) kekakuan horizontal dan (b) rasio redaman ekuivalen pada regangan geser 150%

Tabel 3. Ringkasan sifat mekanis isolator pada regangan geser 150%

Spesimen	Rasio diameter inti	Kh	ξ_{eq}
[-]	[%]	[kN/mm]	[%]
A1	0	0,61	6,89
B1	20	0,57	9,18
C1	40	0,48	10,27

Tabel 3 dan Gambar 5 memperlihatkan hubungan yang berlawanan antara kekakuan horizontal dan rasio redaman. Peningkatan rasio diameter inti HDR menurunkan kekakuan horizontal, tetapi menaikkan rasio redaman ekuivalen. Perubahan paling besar terjadi pada C1 dengan rasio diameter inti 40%.

Dari sudut pandang desain, A1 memberikan tahanan lateral terbesar tetapi redaman terendah. B1 menghasilkan keseimbangan yang lebih moderat antara fleksibilitas dan redaman, sedangkan C1 memberikan redaman tertinggi dengan konsekuensi penurunan kekakuan yang lebih besar.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa pemilihan diameter inti HDR tidak dapat didasarkan hanya pada target redaman. Kebutuhan pembatasan perpindahan, kapasitas tekan, stabilitas, dan ketahanan siklik juga harus dipertimbangkan sebelum konfigurasi diterapkan pada skala struktur.

Karena penelitian ini membandingkan jumlah benda uji yang terbatas dan hanya satu tingkat regangan, hasilnya diposisikan sebagai bukti eksperimental awal. Generalisasi desain memerlukan pengulangan benda uji dan pengujian pada beberapa tingkat regangan, beban vertikal, serta frekuensi pembebanan.

KESIMPULAN

Penambahan inti High-Damping Rubber memberikan pengaruh yang jelas terhadap respons mekanis isolator elastomerik pada regangan geser 150%. Peningkatan rasio diameter inti dari 0% menjadi 20% dan 40% menurunkan kekakuan horizontal dari 0,61 kN/mm menjadi 0,57 kN/mm dan 0,48 kN/mm. Penurunan terhadap A1 masing-masing sebesar 6,56% dan 21,31%.

Rasio redaman ekuivalen meningkat dari 6,89% pada A1 menjadi 9,18% pada B1 dan 10,27% pada C1. Peningkatan terhadap A1 masing-masing sebesar 33,24% dan 49,06%. Dengan demikian, peningkatan diameter inti HDR menghasilkan isolator yang lebih fleksibel sekaligus meningkatkan kemampuan redamannya.

B1 memberikan perubahan yang lebih moderat antara penurunan kekakuan dan peningkatan redaman, sedangkan C1 menghasilkan redaman tertinggi dengan konsekuensi penurunan kekakuan yang lebih besar. Penelitian lanjutan perlu mencakup pengulangan benda uji, variasi beban vertikal dan kecepatan pembebanan, pengujian kelelahan, evaluasi stabilitas tekuk, serta validasi melalui analisis elemen hingga.

DAFTAR PUSTAKA

- Chen, T. (2000). *Determining a Prony series for a viscoelastic material from time strain data varying*. NASA. <http://www.sti.nasa.gov>
- Eem, S., & Hahm, D. (2019). Large strain nonlinear model of lead rubber bearings for beyond design basis earthquakes. *Nuclear Engineering and Technology*, 51(4), 1062–1073. <https://doi.org/10.1016/j.net.2018.11.001>
- Elias, S., & Matsagar, V. (2017). Research developments in vibration control of structures using passive tuned mass dampers. *Annual Reviews in Control*, 44, 129–156. <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2017.09.015>
- Elnashai, A. S., & Di Sarno, L. (2008). *Fundamentals of earthquake engineering*. Wiley.
- European Committee for Standardization. (2009). *EN 15129:2009 Anti-seismic devices*. European Committee for Standardization.
- Feng, D., Liu, W., & Yang, Q. (2006). A new design procedure for seismically isolated buildings based on seismic isolation codes worldwide. *[Conference proceedings information should be completed]*.
- Ghrewati, B. E., Dada, M., Alyosef, I., & Jena, T. (2023). Effect of replacing the lead core with rubber on the mechanical properties of lead rubber bearing. *Materials Today: Proceedings*, 74, 627–635. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.09.604>
- Habieb, A. B., Formisano, A., Milani, G., & Pianese, G. (2022). Seismic performance of unbonded fiber-reinforced elastomeric isolators (UFREI) made by recycled rubber: Influence of suboptimal crosslinking. *Engineering Structures*, 256, Article 114038. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.114038>
- Journal of Natural Rubber Research*. (1992). *[Volume(issue) and page numbers should be completed]*.

- Kelly, J. M., & Konstantinidis, D. (2011). *Mechanics of rubber bearings for seismic and vibration isolation*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119971870>
- Orfeo, A., Tubaldi, E., Muhr, A. H., & Losanno, D. (2022). Mechanical behaviour of rubber bearings with low shape factor. *Engineering Structures*, 266, Article 114532. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.114532>
- Ozkaya, C., Caner, A., Dicleli, M., & Pinarbasi, S. (2011). Development of a new rubber seismic isolator: Ball rubber bearing (BRB). *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 40(12), 1337–1352. <https://doi.org/10.1002/eqe.1091>
- Pianese, G., Habieb, A. B., Losanno, D., & Milani, G. (n.d.). Numerical investigation of high-damping rubber cores to enhance the damping performance of elastomeric seismic isolators. *[Publication information should be completed]*.
- Pianese, G., Milani, G., & Milani, F. (2023). Experimental validation of a numerical model for the prediction of the vulcanization degree of a fiber reinforced elastomeric isolator (FREI). *Chemical Engineering Transactions*, 99, 541–546. <https://doi.org/10.3303/CET2399091>
- Pianese, G., Van Engelen, N., Tait, M., & Milani, G. (2024). Shake table tests on a rigid block isolated with high-damping unbonded fiber-reinforced elastomeric isolators. *Structures*, 64, Article 106595. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2024.106595>
- Pianese, G., Van Engelen, N., Toopchi-Nezhad, H., & Milani, G. (2024). High-damping fiber-reinforced elastomeric seismic isolator in different boundary conditions: An experimental insight. *Engineering Structures*, 300, Article 117199. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.117199>
- Rahnavard, R., & Thomas, R. J. (2019). Numerical evaluation of steel-rubber isolator with single and multiple rubber cores. *Engineering Structures*, 198, Article 109532. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.109532>
- Tan, K. C., & Hejazi, F. (2022). Rubber bearing isolator with granular and polymer filler core and application on a building. *Structures*, 42, 309–332. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.06.006>
- Yeoh, O. H. (1993). Some forms of the strain energy function for rubber. *Rubber Chemistry and Technology*, 66(5), 754–771. <https://doi.org/10.5254/1.3538343>