

PENGARUH VISKOSITAS OLI TERHADAP REDUKSI AMPLITUDO GETARAN PADA SISTEM REDAMAN VISKUS: STUDI EKSPERIMENTAL

Rizki Alfi^{1*}, Rudianto², Muhammad Harif³, Ari Aditia Sukma⁴

^{1,2,3}Program Studi Teknik Industri Agro, Politeknik ATI Padang, Jl. Bungo Pasang Kampus ATIP Tabing Padang

⁴Program Studi Teknik Kimia Bahan Nabati, Politeknik ATI Padang, Jl. Bungo Pasang Kampus ATIP Tabing Padang

E-mail : rizki4lfi@gmail.com

Masuk : 28 Agustus 2025

Direvisi : 16 September 2025

Disetujui : 30 September 2025

Abstrak: Redaman viskus memiliki peranan penting dalam pengendalian getaran mekanik dengan mengonversi energi osilasi menjadi energi panas melalui fluida pelumas. Penelitian ini menyajikan evaluasi eksperimental pengaruh tingkat viskositas oli terhadap karakteristik peluruhan amplitudo pada sistem massa–pegas–peredam yang berosilasi bebas. Empat oli komersial digunakan sebagai variabel redaman, yakni SAE 20, SAE 40, SAE 60, dan SAE 140. Parameter utama yang diamati meliputi pengurangan logaritmik (δ), rasio redaman (ζ), dan persentase peluruhan amplitudo dalam beberapa siklus osilasi. Hasil memperlihatkan adanya peningkatan yang konsisten pada kemampuan redaman seiring kenaikan viskositas; nilai ζ meningkat dari 0,08 (SAE 20) menjadi 0,18 (SAE 140) dan persentase peluruhan amplitudo dari 8,02% menjadi 17,10%. Temuan ini menegaskan bahwa pemilihan viskositas fluida merupakan parameter desain kunci untuk meningkatkan disipasi energi pada sistem redaman viskus di berbagai aplikasi, termasuk suspensi kendaraan dan peredam industri.

Kata kunci: Getaran Bebas, Viskositas Oli, Redaman Viskus, *Logarithmic Decrement*, Sistem Massa–Pegas.

Abstract: Viscous damping plays a crucial role in controlling mechanical vibrations by converting oscillatory energy into heat energy through a lubricating fluid. This study presents an experimental evaluation of the effect of oil viscosity on the amplitude decay characteristics of a freely oscillating damper–spring–mass system. Four commercial oils were used as damping variables, namely SAE 20, SAE 40, SAE 60, and SAE 140. The main parameters measured include logarithmic decrement (δ), damping ratio (ζ), and percentage decay amplitude over several oscillation cycles. The results show a consistent increase in damping capability with increasing viscosity; the ζ value increases from 0.08 (SAE 20) to 0.18 (SAE 140), and the percentage decay amplitude from 8.02% to 17.10%. These findings confirm that fluid viscosity selection is a key design parameter for improving energy dissipation in viscous damping systems in various applications, including vehicle suspension components and industrial dampers.

Keywords: Free Vibration, Oil Viscosity, Viscous Damping, Logarithmic Decrement, Spring–Mass System.

PENDAHULUAN

Getaran pada sistem mekanik tidak dapat dihindarkan dan muncul sebagai respons sistem terhadap eksitasi internal maupun eksternal. Dalam praktik rekayasa, getaran yang tidak terkendali dapat mengakibatkan berbagai konsekuensi, antara lain berkurangnya kenyamanan operasional, meningkatnya keausan komponen, timbulnya kebisingan, penurunan efisiensi, serta potensi kegagalan struktural yang berbahaya [1], [2]. Oleh karena itu, pengendalian getaran merupakan bagian integral dalam proses desain, pengujian, dan operasi sistem mekanik modern. Salah satu cara yang luas digunakan untuk memitigasi getaran adalah penerapan mekanisme redaman, baik melalui material, geometri, maupun perangkat khusus peredam.

Redaman viskus merupakan pendekatan yang sangat populer karena kesederhanaan model matematis sekaligus efektivitas praktisnya. Pada redaman viskus, fluida pelumas menghasilkan gaya hambat yang proporsional terhadap kecepatan gerak relatif, sehingga energi kinetik osilasi dapat didisipasikan ke dalam bentuk kalor [3], [4]. Model ini banyak ditemukan pada perangkat *shock absorber* kendaraan, peredam getaran industri, dan mekanisme isolasi seismik. Salah satu parameter kunci yang memengaruhi performa redaman viskus adalah viskositas fluida. Secara konseptual, semakin tinggi viskositas pelumas, semakin besar gaya gesek internal yang dihasilkan, sehingga laju peluruhan amplitudo getaran meningkat [5], [6].

Kajian literatur telah menunjukkan hubungan positif antara viskositas fluida dan koefisien redaman pada berbagai konfigurasi sistem, baik melalui pendekatan teoritis maupun eksperimental [7], [8]. Dalam kerangka analisis sistem linier satu derajat kebebasan (SDOF), karakteristik peluruhan osilasi dapat diukur melalui *logarithmic decrement* (δ) dan rasio redaman (ζ), yang secara langsung terkait dengan disipasi energi per siklus osilasi [3], [9]. Meskipun demikian, studi eksperimental yang secara spesifik membandingkan pengaruh viskositas oli komersial terhadap parameter peluruhan pada konfigurasi SDOF sederhana masih relatif terbatas, terutama yang menyajikan bukti kuantitatif berbasis data laboratorium yang dapat direplikasi.

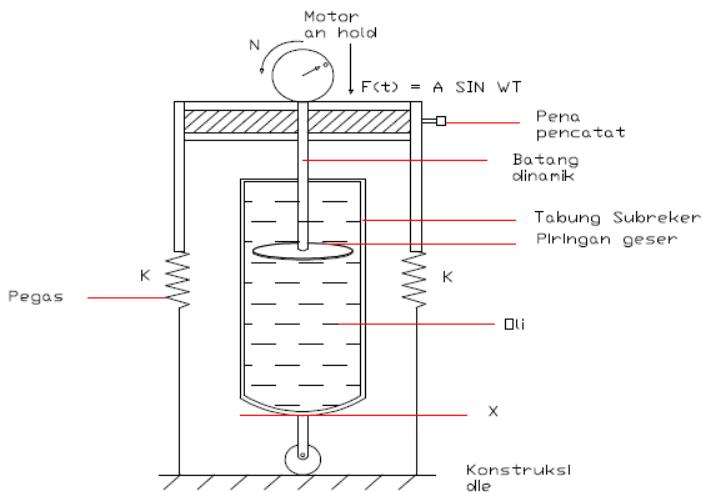
Penelitian ini bertujuan untuk mengisi celah tersebut dengan menilai secara eksperimental pengaruh variasi viskositas oli terhadap laju peluruhan amplitudo getaran. Empat oli dengan kelas SAE yang berbeda (20, 40, 60, 140) digunakan sebagai media redaman pada perangkat uji getaran bebas. Parameter yang dianalisis meliputi amplitudo puncak berturut-turut, nilai δ , ζ , dan persentase peluruhan amplitudo. Kontribusi utama penelitian ini adalah penyajian bukti kuantitatif bahwa peningkatan viskositas oli berkorelasi dengan peningkatan kemampuan redaman, sehingga informasi ini dapat dimanfaatkan dalam perancangan peredam viskus pada aplikasi otomotif dan industri [10]. Selain itu, penelitian ini memanfaatkan prosedur pengukuran sederhana yang tetap valid secara teoretis dan ekonomis, sehingga relevan sebagai acuan evaluasi cepat performa fluida peredam di laboratorium pendidikan maupun pada tahap pengujian awal desain.

METODOLOGI

2.1 Rancangan Eksperimen dan Bahan Uji

Penelitian dilaksanakan menggunakan perangkat uji getaran bebas sistem satu derajat kebebasan (SDOF) yang terdiri atas massa terpasang pada pegas dan dihubungkan dengan peredam viskus berisi oli sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Adapun beberapa instrumen pengujian terdiri atas:

- a. Penggulung kertas, digunakan untuk menggulung kertas yang telah selesai menghasilkan grafik pada kertas milimeter.
- b. Pena pencatat, digunakan untuk membuat grafik pada kertas milimeter.
- c. *DC power supply*, digunakan untuk menjalankan penggulung kertas sehingga kertas milimeter bergerak.



Gambar 1. Skema Alat Uji Getaran Bebas

2.2 Prosedur Pengujian

Perangkat uji dirakit dengan konfigurasi massa, pegas, dan peredam seperti pada Gambar 1. Uji dimulai dengan memberikan simpangan awal pada massa kemudian melepaskannya sehingga sistem berosilasi bebas. Pergerakan osilasi direkam menggunakan drum kertas bergerak konstan dan pena pencatat, menghasilkan kurva simpangan terhadap waktu. Metode pencatatan ini, sekalipun sederhana, memadai untuk mengukur amplitudo puncak antarsiklus secara berurutan yang dibutuhkan untuk menghitung δ dan ζ [9]. Untuk masing-masing oli, percobaan diulang sehingga diperoleh set data yang representatif dan meminimalkan variabilitas pengukuran.

2.3 Pengolahan Data dan Persamaan Dasar

Pengurangan logaritmik didefinisikan sebagai:

$$\delta = \ln \left(\frac{X_1}{X_2} \right) \quad (1)$$

dengan X_1 dan X_2 adalah amplitudo puncak berurutan pada osilasi yang sama. Rasio redaman ζ untuk sistem teredam ringan ($\zeta < 1$) dihitung melalui [3]:

$$\zeta = \frac{\delta}{\sqrt{4\pi^2 + \delta^2}} \quad (2)$$

Sebagai indikator praktis, persentase peluruhan amplitudo didefinisikan:

$$p = \frac{X_1 - X_2}{X_1} \times 100\% \quad (3)$$

Langkah pengolahan data meliputi: (i) ekstraksi nilai amplitudo puncak dari grafik; (ii) perhitungan δ per pasangan puncak; (iii) penentuan nilai rata-rata δ ; (iv) komputasi ζ dan p ; dan (v) komparasi antarviskositas. Validasi konsistensi dilakukan dengan memeriksa tren monoton peningkatan δ dan ζ terhadap kelas SAE, sesuai ekspektasi teoretis [7].

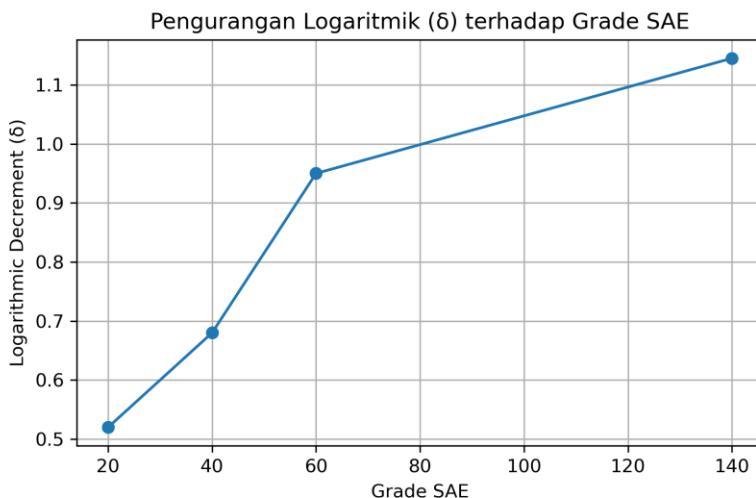
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran dan analisis diperoleh dari percobaan redaman viskus menggunakan empat jenis oli dengan tingkat viskositas atau kekentalan yang berbeda-beda. Dari percobaan didapatkan data yang meliputi amplitudo puncak berturut-turut pada osilasi bebas, nilai pengurangan logaritmik (δ), rasio redaman (ζ), serta persentase peluruhan amplitudo. Hasil eksperimen kemudian dibandingkan secara kuantitatif untuk menilai pengaruh viskositas terhadap kinerja redaman sistem. Selanjutnya, pembahasan difokuskan pada interpretasi hubungan antarparameter tersebut serta implikasinya terhadap desain sistem peredam viskus.

Ringkasan hasil perhitungan parameter redaman untuk setiap tingkat viskositas disajikan pada Tabel 1. Data menunjukkan peningkatan berkelanjutan pada nilai δ , ζ , dan persentase peluruhan amplitudo seiring bertambahnya viskositas oli. Secara grafis, hubungan (korelasi) antara grade SAE sebagai fungsi viskositas terhadap ketiga parameter yaitu pengurangan logaritmik (δ), rasio redaman (ζ), dan persentase peluruhan amplitudo dan ditampilkan pada masing-masing grafik di bawah.

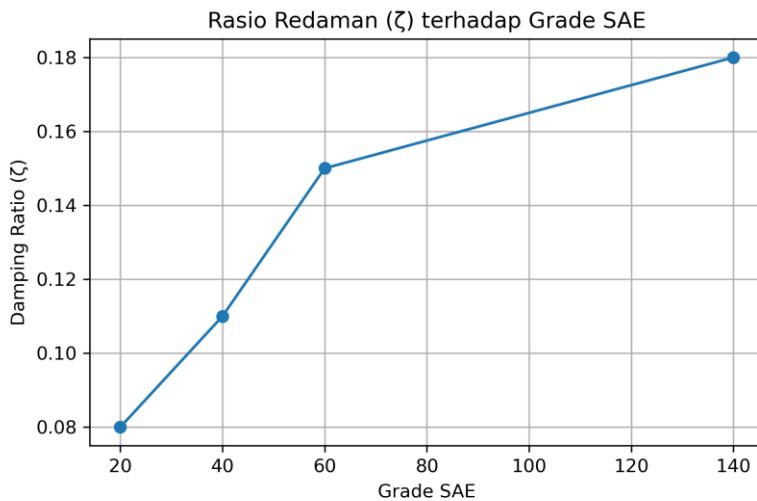
Tabel 1. Parameter Redaman Sebagai Fungsi Viskositas Oli

Oli (SAE)	δ	ζ	Peluruhan (%)
20	0,52	0,08	8,02
40	0,68	0,11	8,74
60	0,95	0,15	15,88
140	1,145	0,18	17,1

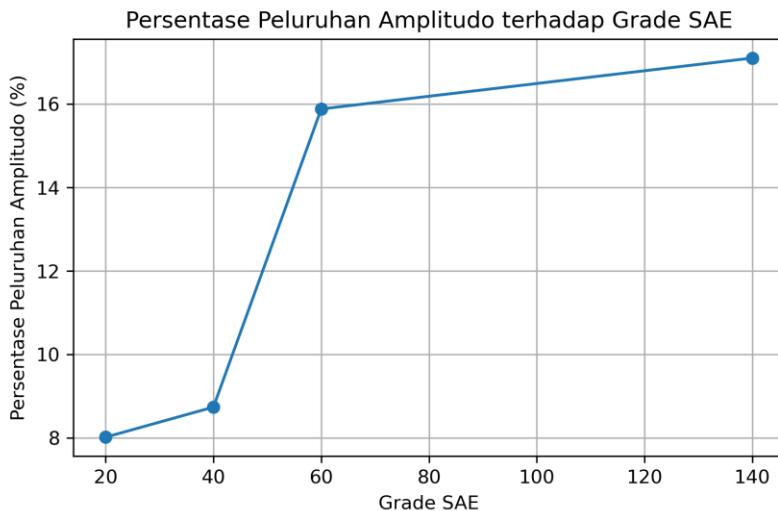


Gambar 2. Pengurangan Logaritmik (δ) Sebagai Fungsi Viskositas (Grade SAE)

Gambar 2 memperlihatkan hubungan antara nilai pengurangan logaritmik (δ) dan tingkat viskositas oli berdasarkan grade SAE. Terlihat bahwa nilai δ meningkat secara hampir linear dengan kenaikan viskositas oli. Oli dengan viskositas rendah seperti SAE 20 menunjukkan δ sebesar sekitar 0,52, sedangkan pada oli SAE 140 nilai δ meningkat menjadi 1,145. Tren ini mengindikasikan bahwa energi osilasi yang terdisipasi per siklus getaran meningkat secara signifikan seiring dengan kenaikan viskositas fluida. Secara fisis, peningkatan viskositas mengakibatkan resistansi fluida terhadap gerakan relatif antarpermukaan meningkat, sehingga gaya redam viskus yang bekerja juga lebih besar. Hal ini sejalan dengan teori dasar redaman viskus yang menyatakan bahwa gaya redam $F_c = c\dot{x}$, di mana konstanta redaman c meningkat seiring viskositas fluida [3], [4]. Hasil ini mendukung temuan yang menunjukkan korelasi positif antara viskositas pelumas dan laju disipasi energi pada sistem suspensi kendaraan [7].

Gambar 3. Rasio Redaman (ζ) Sebagai Fungsi Viskositas (Grade SAE)

Gambar 3 menggambarkan variasi rasio redaman (ζ) terhadap kelas viskositas oli. Pola peningkatan ζ dari 0,08 (SAE 20) hingga 0,18 (SAE 140) menunjukkan bahwa sistem semakin mendekati kondisi *critically damped* seiring bertambahnya viskositas. Pada kondisi ini, amplitudo osilasi menurun lebih cepat tanpa mengalami osilasi berlebihan. Kenaikan rasio redaman menunjukkan peningkatan efisiensi konversi energi kinetik menjadi energi panas di dalam fluida redaman. Secara matematis, hubungan ζ dengan δ dinyatakan seperti pada persamaan (2), yang memperlihatkan bahwa peningkatan δ secara langsung akan meningkatkan ζ . Hasil eksperimen ini memperkuat model teoritis Den Hartog (2014) [3] dan Inman (2020) [2] yang menyatakan bahwa viskositas fluida berperan langsung terhadap konstanta redaman dan, pada akhirnya, terhadap rasio redaman sistem mekanik.



Gambar 4. Persentase Peluruhan Amplitudo Terhadap Grade SAE

Gambar 4 menampilkan persentase peluruhan amplitudo getaran terhadap variasi viskositas oli. Tren yang diperoleh menunjukkan peningkatan peluruhan amplitudo dari 8,02% (SAE 20) hingga 17,10% (SAE 140). Fenomena ini menegaskan bahwa fluida dengan viskositas tinggi lebih efektif dalam menyerap energi getaran dan mempercepat stabilisasi sistem. Semakin besar peluruhan amplitudo berarti energi yang tersimpan dalam bentuk getaran mekanis berkurang lebih cepat, yang secara praktis meningkatkan stabilitas struktur atau kenyamanan sistem suspensi. Namun,

pada aplikasi nyata seperti sistem suspensi kendaraan, pemilihan oli dengan viskositas terlalu tinggi harus mempertimbangkan kompromi antara efektivitas redaman dan peningkatan hambatan fluida yang dapat menyebabkan respons sistem menjadi lebih lambat [5]. Oleh karena itu, hasil ini penting sebagai acuan penentuan *optimum damping range* berdasarkan kebutuhan sistem dan kondisi operasi.

Ketiga grafik tersebut secara konsisten memperlihatkan bahwa parameter redaman (δ , ζ , dan persentase peluruhan amplitudo) meningkat seiring kenaikan viskositas oli. Pola ini menegaskan bahwa viskositas berperan langsung dalam memperkuat efek redaman viskus melalui peningkatan gaya hambat fluida. Secara eksperimental, tren linear pada Gambar 2 dan 3 menunjukkan kesesuaian dengan model redaman linier untuk fluida Newtonian, di mana gaya gesek internal proporsional terhadap kecepatan relatif. Hasil ini juga memperluas bukti empiris bahwa pemilihan fluida redaman yang tepat dapat disesuaikan untuk aplikasi tertentu seperti peredam industri, sistem suspensi kendaraan, maupun isolasi getaran mesin berfrekuensi rendah [8].

Pola kenaikan δ dan ζ menegaskan hipotesis bahwa fluida dengan viskositas lebih tinggi menghasilkan gaya hambat lebih besar yang mempercepat disipasi energi per siklus. Perbedaan antara SAE 20 dan SAE 140 cukup mencolok: rasio redaman meningkat lebih dari dua kali lipat, sementara peluruhan amplitudo meningkat dari 8,02% menjadi 17,10%. Secara fisik, hal ini berarti bahwa osilasi mereda lebih cepat pada fluida kental sehingga amplitudo getaran menurun secara eksponensial dengan konstanta peluruhan yang lebih besar [3], [4]. Hasil ini sejalan dengan temuan pada sistem suspensi kendaraan dan peredam hidrolik yang menunjukkan ketergantungan kuat antara sifat reologi pelumas dan kinerja redaman [5], [7]. Dari perspektif desain, pemilihan viskositas tidak dapat dipisahkan dari kondisi operasi: viskositas yang terlalu tinggi memang meningkatkan redaman, namun berpotensi menimbulkan konsekuensi seperti kenaikan gaya inersia fluida, peningkatan temperatur operasi, atau respons lambat pada eksitasi frekuensi tinggi. Sebaliknya, viskositas yang terlalu rendah dapat menyebabkan redaman tidak memadai sehingga getaran bertahan lebih lama.

Dengan demikian, pemilihan kelas SAE harus mempertimbangkan rentang temperatur kerja, spektrum eksitasi, dan target *ride comfort* atau *vibration isolation*. Secara metodologis, penggunaan metode *logarithmic decrement* pada konfigurasi SDOF sederhana terbukti memadai untuk membedakan kinerja relatif antarviskositas. Keterbatasan studi ini terutama pada resolusi instrumen analog (drum kertas dan pena), sensitivitas terhadap *noise* pembacaan, serta tidak dilakukannya kontrol temperatur oli secara ketat, padahal viskositas bersifat sangat peka terhadap temperatur. Studi lanjutan direkomendasikan untuk menggunakan akselerometer digital, pencuplikan data beresolusi tinggi, dan kontrol temperatur untuk mendapatkan karakterisasi yang lebih komprehensif [10]. Di samping itu, kajian *frequency response* dan perilaku nonlinier pada *large amplitude* dapat memperkaya generalisasi hasil ke aplikasi praktis yang lebih luas.

KESIMPULAN

Penelitian eksperimental ini menunjukkan bahwa peningkatan viskositas oli secara konsisten meningkatkan kemampuan redaman pada sistem massa–pegas–peredam yang berosilasi bebas. Empat tingkat viskositas yang diuji (SAE 20, SAE 40, SAE 60, dan SAE 140) memperlihatkan tren kenaikan pada pengurangan logaritmik (δ), rasio redaman (ζ), dan persentase peluruhan amplitudo; masing-masing mencapai nilai tertinggi pada SAE 140 dengan $\zeta = 0,18$ dan peluruhan 17,10%. Temuan ini memvalidasi prediksi teoretis bahwa fluida yang lebih kental menginduksi disipasi energi yang lebih besar per siklus osilasi, sehingga amplitudo getaran menurun lebih cepat. Implikasi praktisnya, pemilihan viskositas pelumas harus dipertimbangkan sebagai parameter desain utama dalam peredam viskus untuk otomotif dan peralatan industri, dengan tetap memperhatikan kondisi operasi dan batasan termal. Studi lanjutan dengan sensor digital, kontrol temperatur, dan analisis frekuensi direkomendasikan guna memperluas validitas dan kegunaan hasil pada sistem nyata.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. S. Rao, *Mechanical Vibrations*, 6th ed. United Kingdom: Pearson, 2018.
- [2] D. J. Inman, *Engineering Vibration*, 5th ed. United Kingdom: Pearson, 2022.
- [3] J. P. Den Hartog, *Advance Strength of Materials*. New York: Dover, 2014.
- [4] W. T. Thomson and M. D. Dahleh, *Theory of Vibration with Applications*, 5th ed. New York: Pearson, 1997.
- [5] G. Genta and L. Morello, *The Automotive Chassis - Volume 1: Components Design*, 2nd ed. Switzerland: Springer Cham, 2020. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-35635-4>.
- [6] A. G. Piersol and T. L. Paez, *Harris' Shock and Vibration Handbook*, 6th ed. United States: McGraw Hill, 2009.
- [7] U. H. Diala, Y. Zhu, and Z.-Q. Lang, "Analysis of the energy dissipation characteristics of a nonlinear vehicle suspension system," in *2022 UKACC 13th International Conference on Control (CONTROL)*, 2022, pp. 177–182. doi: <https://doi.org/10.1109/Control55989.2022.9781454>.
- [8] N. F. M. Yusof and Z. M. Ripin, "The Effect of Lubrication on the Vibration of Roller Bearings," *MATEC Web Conf.*, vol. 217, p. 01004, 2018, doi: <https://doi.org/10.1051/matecconf/201821701004>.
- [9] R. D. Blevins, *Formulas for Natural Frequency and Mode Shapes*. United States: Krieger Pub Co, 2001.
- [10] M. P. Limongelli, P. F. Giordano, S. Quqa, C. Gentile, and A. Cigada, *Experimental Vibration Analysis for Civil Engineering Structures: EVACES 2023 - Volume 2*. Switzerland: Springer Cham, 2023. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-39117-0>.