



Kajian Literatur Sistematis: Alat Pengukuran Intensitas Getaran Akibat Aktivitas Transportasi

Systematic Literature Review: Measuring Tools for Vibration Intensity Due to Transportation Activities

Dewi Handayani^{1,2*}, Amirotul Musthofiah Hidayah Mahmudah¹, dan Pasaribu Satria Pangalapan Tua¹

¹ Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret

² Pusat Penelitian Lingkungan Hidup – LPPM - Universitas Sebelas Maret

Abstrak

Transportasi adalah sarana yang berperan penting dalam masyarakat untuk membantu perpindahan manusia, barang dan jasa. Meningkatkan sektor ekonomi, pariwisata, dan sosial menjadi salah satu dampak positif dari keberadaan transportasi. Dibalik banyaknya dampak positif yang ditimbulkan, aktivitas transportasi memiliki dampak negatif berupa getaran yang mempengaruhi lingkungan sekitar. Getaran yang ditimbulkan oleh aktivitas transportasi dapat mengganggu kenyamanan dan kesehatan masyarakat hingga menyebabkan kerusakan pada infrastruktur yang berada disekitarnya. Hal tersebut membuktikan bahwa mitigasi terhadap dampak getaran merupakan hal yang penting untuk dilakukan, khususnya getaran akibat aktivitas transportasi. Mitigasi getaran diawali dengan mendapatkan data yang terukur dan dapat dipertanggungjawabkan. Data tersebutlah yang akan dibandingkan dengan regulasi baku mutu getaran yang berlaku di wilayah masing-masing. Oleh sebab itu, penting untuk memperoleh pemahaman mengenai penggunaan alat pengukur intensitas getaran, khususnya akibat aktivitas transportasi yang telah digunakan para peneliti terkini. Artikel ini adalah systematic literature review. Tujuan dari artikel ini adalah untuk mengetahui penerapan berbagai alat pengukur getaran dan metode analisis yang dapat digunakan. Dari tujuan tersebut diharapkan dapat menjadi pertimbangan untuk penelitian selanjutnya dalam memilih alat pengukur getaran dan metode pengukuran yang akan digunakan

Kata Kunci: Getaran, Infrastruktur, Kereta Api, Lalu lintas, Pengukuran, Sensor Getaran, Transportasi.

Abstract

Transport is a tool that plays an important role in society to help move people, goods and services. Improving the economic, tourism and social sectors is one of the positive impacts of transport. Behind the many positive impacts, transport activities have a negative impact in the form of vibrations that affect the surrounding environment. Vibration caused by transport activities can interfere with public comfort and health and cause damage to surrounding infrastructure. This proves that mitigation of vibration impacts is an important thing to do, especially vibration due to transportation activities. Vibration mitigation begins with obtaining measurable and reliable data. The data will be compared with the vibration quality standard regulations that apply in each region. Therefore, it is important to gain an understanding of the use of vibration intensity measuring devices, especially due to transportation activities that have been used by recent researchers. This article is a systematic literature review. The purpose of this article is to find out the application of various vibration measuring devices and analysis methods that can be used. From this goal, it is hoped that it can be a consideration for further research in choosing the vibration measuring device and measurement method to be used.

Keywords: Infrastructure, Measurement, Train, Traffic, Transportation, Vibration, Vibration Sensor.

PENDAHULUAN

Transportasi adalah sarana yang membantu untuk mempermudah perpindahan manusia, barang dan jasa (Handayani dkk, 2023). Transportasi adalah faktor penggerak utama dalam sistem hidup dalam sistem kehidupan masyarakat dan sistem pemerintahan. Berdasarkan moda transportasi, transportasi terbagi menjadi transportasi darat, udara, dan laut. Meningkatkan sektor ekonomi,

pariwisata, dan sosial menjadi salah satu dampak positif dari keberadaan transportasi. Dibalik banyaknya dampak positif yang ditimbulkan, aktivitas transportasi memiliki dampak negatif berupa getaran yang mempengaruhi lingkungan sekitar (Margiantono dkk, 2009). Getaran dapat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti interaksi antara alat transportasi dan tempat perlintasan transportasi itu sendiri (Lazi dkk, 2023; Connolly,

(*)Corresponding author

Telp : 081329236444

E-mail : dewi@ft.uns.ac.id

<http://doi.org/10.33506/rb.v11i01.3997>

Received xx Bulan Tahun; Accepted xx Bulan Tahun; Available online xx Bulan Tahun

E-ISSN: 2614-4344 P-ISSN: 2476-8928

D. P. dkk, 2016; Ouakka, S. dkk, 2022). Intensitas getaran yang ditimbulkan dapat dipengaruhi oleh beban muatan dan kecepatan alat transportasi (Xia, H. dkk, 2007).

Salah satu dampak negatif akibat aktivitas transportasi berkecepatan tinggi terhadap lingkungan adalah meningkatnya tingkat getaran yang merambat di permukaan tanah kelilingan sekitarnya (Connolly, D. P. dkk, 2014; Ouakka, S. dkk, 2022). Tingkat getaran tanah tergantung pada energi dari sumber getaran, properti tanah, jarak sumber getaran, karakteristik propagasi gelombang, karakteristik dinamis dan kerentanan struktur yang ditinjau (Khoeri dan Isvara, 2024). Getaran yang ditimbulkan oleh aktivitas transportasi dapat mengganggu kenyamanan dan kesehatan masyarakat hingga menyebabkan kerusakan pada infrastruktur yang berada disekitarnya (Tobing dkk, 2023; Alfira dkk, 2023; Connolly, D. P. dkk, 2016; Ouakka, S. dkk, 2022). Salah satu penyebab utama kerusakan pada infrastruktur (bangunan) adalah getaran akibat aktivitas transportasi (Piyush dkk, 2015). Getaran yang terjadi terus menerus dan melewati batas tingkat baku getaran dapat mengakibatkan kerusakan bangunan seperti kerusakan dinding, kaca pecah, hingga keruntuhan bangunan (Tobing dkk, 2023). Getaran secara terus menerus serta melewati ambang batas getaran berpotensi untuk menimbulkan kerusakan pada cagar budaya (Adhidhuto, 2021).

Selain menyebabkan kerusakan pada infrastruktur, getaran akibat aktivitas transportasi juga memberi dampak negatif bagi kesehatan masyarakat. Getaran ini dapat menyebabkan dampak negatif yang signifikan seperti gangguan kenyamanan pada masyarakat yang tinggal di dekat perlintasan (Connolly, D. P. dkk, 2014). Getaran yang ditimbulkan oleh aktivitas transportasi dapat mengganggu kenyamanan dan kesehatan masyarakat hingga menyebabkan kerusakan pada infrastruktur yang berada disekitarnya (Tobing dkk, 2023; Alfira dkk, 2023; Connolly, D. P. dkk, 2016; Ouakka, S. dkk, 2022). Peningkatan penggunaan transportasi menjadi alasan pentingnya sebuah penelitian terkait efek getaran yang dihasilkan dari aktivitas transportasi kepada bangunan disekitarnya. (Crispino and D'Apuzzo, 2001; Ivorra and Pallarés, 2006; Ramos dkk, 2010; Ma dkk, 2011; Saisi dkk, 2015; Díaz dkk, 2017; Roselli dkk, 2017; Ubertaini dkk, 2017; Gentile dkk, 2019).

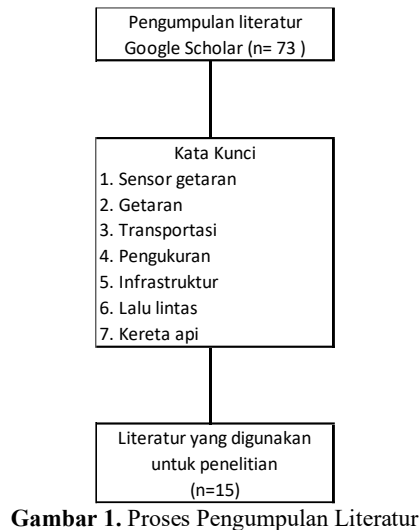
Pesatnya pertumbuhan aktivitas yang berpotensi memicu getaran antara lain, lalu lintas jalan, aktivitas gedung, kereta api, dan industri (Bronkhorst dkk, 2021), menjadikan standar terkait getaran dan mitigasi terhadap dampak getaran menjadi penting. Setiap negara termasuk Indonesia

telah memiliki regulasi terkait baku mutu getaran. Tidak sedikit penelitian yang mengevaluasi data hasil pengukuran terhadap standar tingkat getaran yang berlaku di setiap wilayah (Vursavus dan Ozguve, 2004; Singh dkk, 2017; Zhou dkk, 2018; Fernando dkk, 2019; Borocz, 2019; Chaiwong dkk, 2021; Tihanyi-Kovacs dkk, 2023; Garrido dkk, 2023; Barchi dkk, 2002; Paternoster dkk, 2018; Barchi dkk, 2002; Paternoster dkk, 2018). Penelitian terkait metode mitigasi terhadap dampak getaran telah banyak dilakukan (Budi, G.S. dkk, 2021; Tobing dkk, 2023; Costa dkk, 2012; Gao dkk, 2006; Huang Shi, 2015; Sun dan Gao, 2017; Ma dkk, 2017; Qu dkk, 2019; He C. dkk, 2021; He W. dkk, 2021; Jin dkk, 2022; Shrivastava dan Kameswara Rao, 2002; Andersen dan Nielsen, 2005; Takemiya, 2004; Coelho dan Koopman, 2012). Hal tersebut membuktikan bahwa mitigasi terhadap dampak getaran merupakan hal yang penting untuk dilakukan, khususnya getaran akibat aktivitas transportasi.

Mitigasi getaran diawali dengan mendapatkan data yang terukur dan dapat dipertanggungjawabkan. Data tersebutlah yang akan dibandingkan dengan regulasi baku mutu getaran yang berlaku di wilayah masing-masing. Sedikitnya referensi mengenai alat pengukur intensitas getaran di Indonesia menjadi salah satu masalah yang menjadi fokus di penelitian ini. Untuk itu penting untuk memperoleh pemahaman mengenai penggunaan alat pengukur intensitas getaran, khususnya akibat aktivitas transportasi yang telah digunakan para peneliti terkini.

METODE

Kajian alat pengukuran intensitas getaran akibat transportasi ini adalah *systematic literature review*. Tujuan dari artikel ini adalah untuk mengetahui penerapan berbagai alat pengukur getaran dan metode analisis yang dapat digunakan. Dari tujuan tersebut diharapkan dapat menjadi pertimbangan untuk penelitian selanjutnya dalam memilih alat pengukur getaran dan metode pengukuran yang akan digunakan. Pada penulisan *systematic literature review* ini, diterapkan strategi pengumpulan literatur yang relevan. Pengumpulan literatur yang relevan dilakukan menggunakan *Google Scholar* dengan kata kunci sensor getaran, getaran, transportasi, pengukuran, infrastruktur, lalu lintas, dan kereta api. Pengumpulan literatur dilakukan dengan rentang waktu publikasi 10 tahun terakhir. Diagram alir proses pengumpulan literatur dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses Pengumpulan Literatur

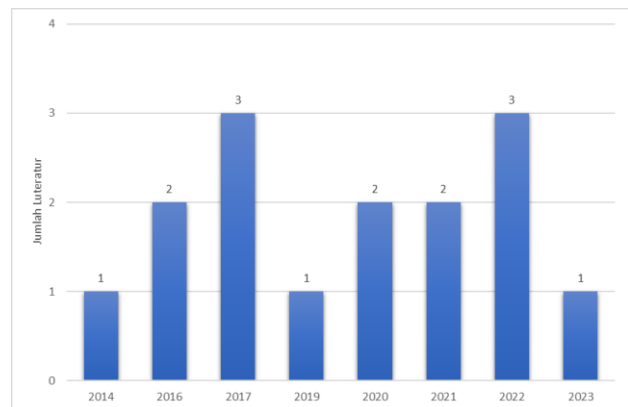
Berdasarkan Gambar 1. dapat dilihat jumlah literatur yang digunakan untuk membuat *systematic literature review* ini sebanyak 73 literatur. Pencarian literatur dilakukan pada rentang tahun 2001 hingga 2024. Proses pemilihan literatur ini dilakukan dengan cara *screening* literatur dan memilih literatur yang paling sesuai dengan kriteria yang ditentukan. Kriteria literatur yang ditentukan ialah literatur berupa karya tulis asli (jurnal atau prosiding) dan terpublikasi paling lama pada tahun 2014. Dari kriteria tersebut, didapat 15 literatur yang paling relevan untuk digunakan dalam penelitian ini. Literatur yang digunakan dalam penelitian ini berjumlah 10 jurnal dan 5 prosiding. Seluruh literatur yang digunakan dalam penelitian ini telah terpublikasi oleh 12 media publikasi dan dikutip oleh 244 artikel lainnya. Detail distribusi jurnal berdasarkan jumlah sitasi dan indeks jurnal tiap-tiap jurnal dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Distribusi Jurnal Berdasarkan Jumlah Sitasi dan Indeks Jurnal

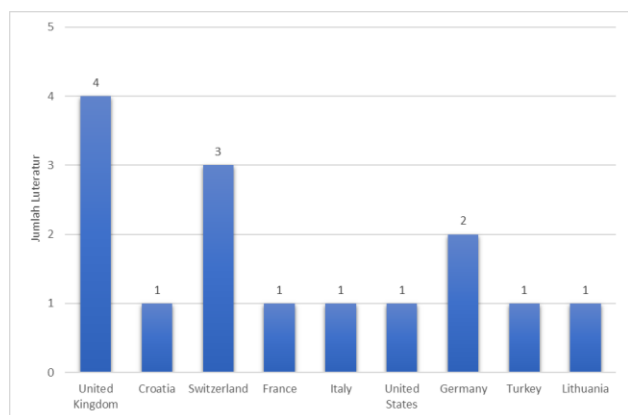
Referensi	Jumlah Sitasi	Indeks Jurnal
(Qiu, Y. <i>et. al.</i> , 2023)	11	Q1
(Peris, E. <i>et. al.</i> , 2016)	26	Q1
(Erkal, A. 2019)	11	Q3
(Beben, D. <i>et. al.</i> , 2022)	18	Q2
(Kouroussis, G. <i>et. al.</i> , 2017)	25	Q3
(Baraccani, S. <i>et. al.</i> , 2020)	28	Q2
(Lazi, M. <i>et. al.</i> , 2022)	3	prosiding

Referensi	Jumlah Sitasi	Indeks Jurnal
(Halading, I. <i>et. al.</i> , 2021)	16	Q2
(Azzara, R. <i>et. al.</i> , 2017)	26	Q3
(Azzara, R. <i>et. al.</i> , 2021)	48	Q1
(Baraccani, S. <i>et. al.</i> , 2016)	2	prosiding
(Palermo, M. <i>et. al.</i> , 2014)	2	prosiding
(Ates, S. <i>et. al.</i> , 2020)	3	prosiding
(Vasheghani, M. <i>et. al.</i> , 2022)	10	Q3
(Pachla, F. <i>et. al.</i> , 2017)	15	prosiding

Distribusi jurnal pada kajian ini juga ditampilkan dalam bentuk distribusi tahun dan negara dari masing-masing jurnal. Detail distribusi jurnal berdasarkan tahun dan negara dapat dilihat pada Gambar 2. dan Gambar 3.



Gambar 2. Distribusi Jurnal Berdasarkan Tahun



Gambar 3. Distribusi Jurnal Berdasarkan Negara

Pada Tabel 1. dapat dilihat jumlah sitasi dan indeks jurnal dari masing-masing jurnal yang

digunakan dalam penelitian ini. Pada Gambar 2. dapat dilihat bahwa seluruh jurnal yang dipakai dalam penelitian ini terpublikasi dalam kurun waktu 10 tahun terakhir (2014-2024). Pada Gambar 3. dapat dilihat bahwa mayoritas jurnal yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Negara United Kingdom (4 jurnal) dan diikuti oleh Negara Switzerland (3 jurnal).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Teknologi pengukuran dan analisis getaran memegang peranan penting dalam mengetahui besaran getaran yang terjadi di sebuah daerah. Pengukuran dan pemantauan getaran yang tepat

sangat penting untuk mengidentifikasi kejadian anomali dan mengantisipasi kerusakan infrastruktur (Adewuyi dkk, 2009). Alat pengukur getaran sudah banyak digunakan dalam penelitian terkait getaran, biasanya alat pengukur getaran yang digunakan berbasis pada teknologi piezoelektrik, magnetostriktif, kapasitif, dan induktif (Abas dkk, 2015; Tadigadapa dkk, 2009; Lee, H. dkk, 2010; Chiang dkk, 2014; Nam dkk, 2011). Alat pengukur getaran dan metode analisis pengukuran yang telah digunakan pada penelitian-penelitian terdahulu dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Alat Pengukur Getaran dan Metode Analisis Pengukuran Intensitas Getaran

Referensi	Alat Pengukur Getaran	Metode Analisis Pengukuran	Objek Sumber Getaran
(Qiu, Y. <i>et. al.</i> , 2023)	<i>Accelerometer</i>	Metode analisis komparatif	Kereta api
(Peris, E. <i>et. al.</i> , 2016)	<i>Accelerometer</i>	Metode analisis statistik	Kereta api
(Erkal, A. 2019)	Seismometer	Metode analisis numerik	Kereta api
(Beben, D. <i>et. al.</i> , 2022)	<i>The Fast Tracer Vibration Gauge</i>	Metode analisis <i>Fast Fourier Transform</i> (FFT) dan <i>time history</i>	Kendaraan Jalan Raya
(Kouroussis, G. <i>et. al.</i> , 2017)	<i>Accelerometer</i>	Metode analisis empiris, eksperimental, dan <i>Peak Particle Velocity</i> (PPV)	Kereta api
(Baraccani, S. <i>et. al.</i> , 2020)	Seismometer	Metode analisis <i>numerical (finite models)</i> dan eksperimental	Kendaraan Jalan Raya
(Lazi, M. <i>et. al.</i> , 2022)	Seismometer	Metode analisis deskriptif statis dan <i>Peak Particle Velocity</i> (PPV)	Kereta api
(Halading, I. <i>et. al.</i> , 2021)	<i>Accelerometer</i>	Metode analisis deskriptif hasil pengukuran getaran. (<i>waveform, Particle Velocity (PPV), dan frequency response</i>)	Kereta api
(Azzara, R. <i>et. al.</i> , 2017)	Seismometer	Metode <i>Operational Modal Analysis</i> (OMA) dan <i>Experimental Modal Analysis</i> (EMA)	Kereta api
(Azzara, R. <i>et. al.</i> , 2021)	Seismometer dan <i>Accelerometer</i>	Metode <i>Operational Modal Analysis</i> (OMA) dan <i>Experimental Modal Analysis</i> (EMA)	Kendaraan Jalan Raya
(Baraccani, S. <i>et. al.</i> , 2016)	Seismometer	Metode analisis <i>Fast Fourier Transform</i> (FFT) dan <i>finite model (FE Model)</i>	Kendaraan Jalan Raya
(Palermo, M. <i>et. al.</i> , 2014)	Seismometer	Metode analisis <i>Fast Fourier Transform</i> (FFT)	Kendaraan Jalan Raya
(Ates, S. <i>et. al.</i> , 2020)	<i>Accelerometer</i>	Metode analisis <i>Fast Fourier Transform</i> (FFT)	Kereta api
(Vasheghani, M. <i>et. al.</i> , 2022)	<i>Accelerometer</i>	Metode analisis <i>Fast Fourier Transform</i> (FFT) dan <i>The Equivalent VDV</i>	Kereta api
(Pachla, F. <i>et. al.</i> , 2017)	<i>Accelerometer</i>	Metode analisis komparatif dan <i>Root Mean Square</i> (RMS)	Kereta api

Pada Tabel 2. terdapat tiga jenis alat pengukur getaran yang paling sering digunakan, yaitu delapan penelitian menggunakan *accelerometer*, tujuh penelitian menggunakan seismometer, dan satu penelitian menggunakan *The Fast Tracer Vibration Gauge* dalam 10 tahun terakhir. Dari data tersebut, alat pengukur getaran yang paling banyak digunakan adalah *accelerometer*. *Accelerometer* adalah sebuah alat ukur yang dapat mengukur percepatan dengan tepat, khususnya percepatan getaran. Penelitian 5 tahun terakhir yang menggunakan *accelerometer* sebagai alat ukur getaran, mayoritas menggunakan metode analisis *Fast Fourier Transform* (FFT) untuk

mengolah data getaran. Pada data tersebut juga dapat disimpulkan bahwa alat pengukur getaran *accelerometer* dominan digunakan untuk mengukur getaran akibat aktivitas kereta api.

Alat ukur seismometer menjadi jenis alat pengukur kedua yang paling sering digunakan. Seismometer adalah sebuah alat ukur yang merespon perpindahan dan guncangan tanah. Penelitian yang menggunakan seismometer sebagai alat ukur getaran, mayoritas menggunakan metoda analisis *Fast Fourier Transform* (FFT) dan Metode *Operational Modal Analysis* (OMA) dan *Experimental Modal Analysis* (EMA). Pada hasil

analisis literatur juga dapat disimpulkan bahwa alat pengukur getaran seismometer dominan digunakan untuk mengukur getaran akibat aktivitas lalu lintas jalan raya.

Di Indonesia penelitian mengenai getaran akibat aktivitas transportasi pernah dilakukan oleh Wati dkk (2020). Pada penelitian tersebut dilakukan pengukuran getaran akibat aktivitas kereta api menggunakan 4 buah sensor *accelerometer*. Sensor *accelerometer* pertama diletakkan 1 meter dari tepi rel, diikuti sensor selanjutnya dengan jarak empat meter antar tiap sensor. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode komparatif dimana peneliti membandingkan hasil pengukuran setiap sensor. Hasil dari penelitian tersebut berupa intensitas getaran dengan satuan m/s^2 yang membuktikan bahwa semakin jauh jarak dari sumber getaran, maka intensitas getaran akan semakin menurun.

Penelitian pengukuran intensitas getaran akibat aktivitas kereta api menggunakan sensor *accelerometer* juga pernah dilakukan oleh Marpaung dan Kusumawardani (2020) di struktur jembatan. Pada penelitian tersebut, *accelerometer* diletakkan pada satu per tiga bagian jembatan. Metode yang digunakan peneliti adalah metode deskriptif yaitu pembacaan hasil pengukuran intensitas getaran pada sensor *accelerometer*. Hasil keluaran dari sensor *accelerometer* yang digunakan pada penelitian ini berupa percepatan getaran dengan satuan m/s^2 .

Berdasarkan Tabel 2. tampak bahwa metode *Fast Fourier Transform* (FFT) merupakan metode yang paling banyak digunakan untuk mengolah hasil pengukuran intensitas getaran dalam penelitian satu dekade terakhir. Metode *Fast Fourier Transform* (FFT) dapat digunakan dalam analisis getaran akibat aktivitas kereta api maupun kendaraan jalan raya. *Fast Fourier Transform* (FFT) merupakan teknik yang menggabungkan jumlah sampel secara berurutan sehingga menghasilkan koefisien *Discrete Fourier Transform* (DFT) yang dibutuhkan. *Fast Fourier Transform* (FFT) mampu menunjukkan kandungan frekuensi yang terkandung di dalam sinyal dan menunjukkan berapa banyak komponen frekuensi di dalam sinyal (Radiana, S.G., 2008).

Penelitian yang menggunakan metode *Fast Fourier Transform* (FFT) untuk mengolah data hasil pengukuran intensitas getaran juga pernah dilakukan oleh Tobing dkk (2023). Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui pengaruh getaran kereta api terhadap bangunan yang berada disekitarnya. Dua buah *accelerometer* digunakan dalam penelitian ini, dimana alat pertama diletakkan pada bantalan beton dan alat kedua diletakkan 5,2 meter dari titik 1 (pada tanah). Metode analisis yang digunakan pada

penelitian ini adalah metode *Fast Fourier Transform* dan metode numerik untuk mendapatkan hasil pengukuran getaran yang akurat. Hasil keluaran dari sensor *accelerometer* yang digunakan pada penelitian ini berupa nilai perpindahan dan percepatan (m/s^2).

Standar baku mutu tingkat getaran intensitas getaran yang berlaku di Indonesia adalah Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No.49 Tahun 1996. Pada peraturan tersebut disebutkan bahwa alat pengukur getaran yang digunakan adalah *accelerometer* dan seismometer dengan metode *Fast Fourier Transform* (FFT). Dibuktikan dengan penelitian Wati dkk, (2020), Marpaung dan Kusumawardani (2020), dan Tobing dkk, (2023), penerapan sensor *accelerometer* di Indonesia sudah cukup banyak digunakan untuk melakukan pengukuran getaran. Oleh sebab itu, sensor *accelerometer* dapat dijadikan pilihan sebagai alat pengukuran getaran akibat aktivitas transportasi di Indonesia. Metode analisis pengukuran intensitas getaran *Fast Fourier Transform* juga dapat diterapkan pada penelitian dimasa yang akan datang sesuai dengan kebutuhan dari penelitian.

KESIMPULAN

Dari *systematic literature review* ini dapat dilihat bahwa untuk mengukur getaran akibat aktivitas kereta api dapat menggunakan sensor *accelerometer*, sedangkan untuk getaran akibat aktivitas jalan raya adalah seismometer. Dari *systematic literature review* ini juga diperoleh metode *Fast Fourier Transform* (FFT) sebagai metode yang paling banyak digunakan untuk mengolah hasil data intensitas getaran selama 5 tahun terakhir. Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No.49 Tahun 1996 merekomendasikan *accelerometer* dan seismometer serta metode analisis *Fast Fourier Transform* (FFT) untuk melakukan penelitian atau pengukuran terhadap intensitas getaran akibat aktivitas transportasi. Hal tersebut membuktikan bahwa standar baku tingkat getaran yang berada pada Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No.49 Tahun 1996 masih relevan digunakan hingga saat ini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Tim Penelitian Getaran akibat Transportasi di Grup Riset Transportasi Berkelanjutan dan Laboratorium Sistem Transportasi, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret. Tanpa dukungan, kontribusi, dan kerja sama semua pihak yang terlibat, penelitian ini tidak akan mungkin mencapai keberhasilan.

REFERENSI

- Abas, Z., Yang, D.H., Kim, H.S., Kwak, M.K. and Kim, J., 2015. Characterization of electro-active paper vibration sensor by impact testing and random excitation. *International Journal of Applied Mechanics*, 7(04), p.1550065.
- Adhidhuto, L.S., Muhammad, R., Kurniawan, J., Santosa, P. and Priyanto, A., 2021. Respon Struktur Candi Mendut Terhadap Getaran Lalu Lintas. *Jurnal Konservasi Cagar Budaya*, 15(1), pp.35-51.
- Alfira, F.A., Khambali, K., Suprijandani, S. and Sari, E., 2023. Analysis Of Train Vibration And Noise On Population Subjective Complaints. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 11(1), pp.96-101.
- Andersen, L.S.R.K. and Nielsen, S.R., 2005. Reduction of ground vibration by means of barriers or soil improvement along a railway track. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 25(7-10), pp.701-716.
- Ates, S., Celebi, E., Kirtel, O., Zulfikar, A.C. and Goktepe, F., 2020, March. Measurement of vibrations generated by high speed railway traffic and evaluation according to international norms. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 800, No. 1, p. 012005). IOP Publishing.
- Azzara, R.M., De Falco, A., Girardi, M. and Pellegrini, D., 2017. Ambient vibration recording on the Maddalena Bridge in Borgo a Mozzano (Italy): data analysis. *Annals of Geophysics*, 60(4), pp.1-14.
- Azzara, R.M., Girardi, M., Iafolla, V., Lucchesi, D.M., Padovani, C. and Pellegrini, D., 2021. Ambient vibrations of age-old masonry towers: Results of long-term dynamic monitoring in the historic centre of Lucca. *International Journal of Architectural Heritage*, 15(1), pp.5-21.
- Baraccani, S., Azzara, R.M., Palermo, M., Gasparini, G. and Trombetti, T., 2020. Long-term seismometric monitoring of the two towers of Bologna (Italy): modal frequencies identification and effects due to traffic induced vibrations. *Frontiers in Built Environment*, 6, p.85.
- Baraccani, S., Palermo, M., Gasparini, G., Silvestri, S., Trombetti, T. and Azzara, R.M., 2016, July. The static and dynamic monitoring of the asinelli tower in Bologna, Italy. In *Proceedings of 8th European Workshop on Structural Health Monitoring (EWSHM)*.
- Barchi, G.L., Berardinelli, A., Guarnieri, A., Ragni, L. and Fila, C.T., 2002. PH—postharvest technology: damage to loquats by vibration-simulating intra-state transport. *Biosystems Engineering*, 82(3), pp.305-312.
- Basekar, P., Vaghela, D. and Katakiya, M., 2015. Impact of traffic vibration on heritage structures. *International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science*, 3(03).
- Beben, D., Maleska, T., Bobra, P., Duda, J. and Anigacz, W., 2022. Influence of traffic-induced vibrations on humans and residential building—a case study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(9), p.5441.
- Budi, G.S., 2021. Studi Efektivitas Parit Dalam Mengurangi Getaran. *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil*, 10(2), pp.9-16.
- Böröcz, P., 2019. Vibration and acceleration levels of multimodal container shipping physical environment. *Packaging Technology and Science*, 32(6), pp.269-277.
- Bronkhorst, A.J., Moretti, D. and Geurts, C.P.W., 2021. Vibration threshold exceedances in the Groningen building vibration monitoring network. *Frontiers in Built Environment*, 7, p.703247.
- Chaiwong, S., Yoythaisong, P., Arwatchananukul, S., Aunsri, N., Tontiwattanukul, K., Trongsatitkul, T., Kitazawa, H. and Saengrayap, R., 2021. Vibration damage in guava during simulated transportation assessed by digital image analysis using response surface methodology. *Postharvest Biology and Technology*, 181, p.111641.
- Chiang, C.T., Chang, C.I. and Fang, W., 2014. Design of a digitized vibration detector implemented by CMOS digitized capacitive transducer with in-plane SoI accelerometer. *IEEE sensors journal*, 14(8), pp.2546-2556.
- Coelho, B.Z. and Koopman, A., 2012. Scaled test bench for the assessment of wave impeding barriers. In *Proceedings of International*

- Conference on Noise and Vibration Engineering (ISMA2012)/International Conference on Uncertainty in Structural Dynamics (USD2012). Leuven, Belgium* (pp. 1263-1275).
- Connolly, D.P., Kouroussis, G., Woodward, P.K., Costa, P.A., Verlinden, O. and Forde, M.C., 2014. Field testing and analysis of high speed rail vibrations. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 67, pp.102-118.
- Connolly, D.P., Marecki, G.P., Kouroussis, G., Thalassinakis, I. and Woodward, P.K., 2016. The growth of railway ground vibration problems—A review. *Science of the Total Environment*, 568, pp.1276-1282.
- Crispino, M. and D'apuzzo, M., 2001. Measurement and prediction of traffic-induced vibrations in a heritage building. *Journal of sound and vibration*, 246(2), pp.319-335.
- Costa, P.A., Calçada, R. and Cardoso, A.S., 2012. Ballast mats for the reduction of railway traffic vibrations. Numerical study. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 42, pp.137-150.
- Díaz, J., Ruiz, M., Sánchez-Pastor, P.S. and Romero, P., 2017. Urban seismology: On the origin of earth vibrations within a city. *Scientific reports*, 7(1), p.15296.
- Erkal, A., 2019. Impact of traffic-induced vibrations on residential buildings and their occupants in metropolitan cities. *Promet-Traffic&Transportation*, 31(3), pp.271-285.
- Fernando, I., Fei, J. and Stanley, R., 2019. Measurement and analysis of vibration and mechanical damage to bananas during long-distance interstate transport by multi-trailer road trains. *Postharvest Biology and Technology*, 158, p.110977.
- Gao, G.Y., Li, Z.Y., Qiu, C. and Yue, Z.Q., 2006. Three-dimensional analysis of rows of piles as passive barriers for ground vibration isolation. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 26(11), pp.1015-1027.
- Garcia-Romeu-Martinez, M.A., Singh, S.P. and Cloquell-Ballester, V.A., 2008. Measurement and analysis of vibration levels for truck transport in Spain as a function of payload, suspension and speed. *Packaging Technology and Science: An International Journal*, 21(8), pp.439-451.
- Gentile, C., Ruccolo, A. and Canali, F., 2019. Continuous monitoring of the Milan Cathedral: dynamic characteristics and vibration-based SHM. *Journal of Civil Structural Health Monitoring*, 9, pp.671-688.
- Haladin, I., Bogut, M. and Lakušić, S., 2021. Analysis of tram traffic-induced vibration influence on earthquake damaged buildings. *Buildings*, 11(12), p.590.
- Handayani, D., Ubaidillah, U. and Adzim, W.F., Pengaruh Timbunan Jalan Rel Terhadap Tingkat Kebisingan Aktivitas Kereta Api. *Matriks Teknik Sipil*, 11(4), pp.449-455.
- Handayani, D., Ubaidillah, U. and Sabtya, A.M.N., 2024. Karakteristik Tingkat Kebisingan Akibat Aktivitas Kereta Api Di Pemukiman (Studi Kasus: Jl. Cimanuk II-Jebres-Surakarta). *Matriks Teknik Sipil*, 11(4), pp.442-448.
- He, C., Zhou, S., Di, H. and Zhang, X., 2021. An efficient prediction model for vibrations induced by underground railway traffic and experimental validation. *Transportation Geotechnics*, 31, p.100646.
- He, W., Zou, C., Pang, Y. and Wang, X., 2021. Environmental noise and vibration characteristics of rubber-spring floating slab track. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, pp.13671-13689.
- Huang, J. and Shi, Z., 2015. Vibration reduction of plane waves using periodic in-filled pile barriers. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 141(6), p.04015018.
- Ivorra, S. and Pallarés, F.J., 2006. Dynamic investigations on a masonry bell tower. *Engineering structures*, 28(5), pp.660-667.
- Jin, H., Tian, Q., Li, Z. and Wang, Z., 2022. Ability of vibration control using rubberized concrete for tunnel invert-filling. *Construction and Building Materials*, 317, p.125932.
- Kawecki, J. and Stypula, K., 2013. Designing roads near the buildings providing the necessary vibrational comfort for the residents. *Procedia Engineering*, 57, pp.549-556.

- Khoeri, H. and Isvara, W., 2024. Analisis Resiko Getaran Tanah Akibat Pengeboran Rencana Pondasi Jembatan yang Bersimpangan dengan Jalur Pipa Gas. *Jurnal Rancang Bangun*, Vol. 10 No. 02, pp 095-104.
- Kouroussis, G., Mouzakis, H.P. and Vogiatzis, K.E., 2017. Structural impact response for assessing railway vibration induced on buildings. *Mechanics & Industry*, 18(8), p.803.
- Lazi, M.K.A.M., Adnan, M.A. and Sulaiman, N., 2022. The impact of train operation time with ground borne vibration induced by railway traffic. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 971, No. 1, p. 012004). IOP Publishing.
- Lazi, M.K.A.M., Adnan, M.A., Sulaiman, N., Kamarudin, S.N.N., Hassan, S.A., Warid, M.N.M., Samsudin, M.S., Jasmi, A.R. and Zolkepli, M.F., 2023, September. Allowable Limit of Human Annoyance Towards Ground-Borne Vibration Velocity Induced by Rail Traffic: A Review. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1238, No. 1, p. 012007). IOP Publishing.
- Lee, H.C. and Bae, W.H., 2010. Study on the elimination of irreversible magnetic components using anhysteretization in a magnetostrictive vibration sensor. *Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, 20(9), pp.841-848.
- Margiantono, A. and Setiawati, E., 2009. Prediksi Peningkatan Getaran Di Zona Jalur Kereta Api Sebagai Dampak Adanya Double Track (Yang Akan Dibangun) Untuk Pembangunan Berkelanjutan. *Jurnal Pengembangan Rekayasa dan Teknologi*, 11(2), pp.67-72.
- Ma, M., Markine, V., Liu, W.N., Yuan, Y. and Zhang, F., 2011. Metro train-induced vibrations on historic buildings in Chengdu, China. *Journal of Zhejiang University-Science A*, 12(10), pp.782-793.
- Ma, M., Liu, W., Li, Y. and Liu, W., 2017. An experimental study of vibration reduction of a ballasted ladder track. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 231(9), pp.1035-1047.
- Marpaung, B. and Kusumawardani, R., 2020. Vibration Analysis on the Bridge Structures Caused by Train Load. *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*, 22(2), pp.152-157.
- Hidup, M.N.L., 1996. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 49 Tahun 1996 Tentang: Baku Tingkat Getaran.
- Nam, S.B., Yun, G.J. and Lim, S.I., 2011. Development of the inductive proximity sensor module for detection of non-contact vibration. *Journal of The Korea Society of Computer and Information*, 16(5), pp.61-71.
- Ouakka, S., Verlinden, O. and Kouroussis, G., 2022. Railway ground vibration and mitigation measures: benchmarking of best practices. *Railway Engineering Science*, 30(1), pp.1-22.
- Pachla, F., Radecki Pawlik, B., Stypuła, K. and Tataru, T., 2017. Vibration induced by railway traffic-zones of influence on buildings and humans. *Vibroengineering Procedia*, 13, pp.188-192.
- Palermo, M., Azzara, R.M., Baraccani, S., Cavaliere, A., Morelli, A. and Silvestri, S., 2014. Measurements of the free vibration response of the asinelli tower in bologna and its interpretation. In *Proceedings of II International Conference on Earthquake Engineering and Seismology (Istanbul)* (pp. 1-12).
- Paternoster, A., Vanlanduit, S., Springael, J. and Braet, J., 2018. Measurement and analysis of vibration and shock levels for truck transport in Belgium with respect to packaged beer during transit. *Food Packaging and Shelf Life*, 15, pp.134-143.
- Peris, E., Woodcock, J., Sica, G., Sharp, C., Moorhouse, A.T. and Waddington, D.C., 2016. Guidance for new policy developments on railway noise and vibration. *Transportation research part A: policy and practice*, 85, pp.76-88.
- Philips Adewuyi, A., Wu, Z. and Kammrujman Serker, N.H.M., 2009. Assessment of vibration-based damage identification methods using displacement and distributed strain measurements. *Structural Health Monitoring*, 8(6), pp.443-461.

- Qiu, Y., Zou, C., Wu, J., Shen, Z. and Zhong, Z., 2023. Building vibration measurements induced by train operation on concrete floor. *Construction and Building Materials*, 394, p.132283.
- Qu, X., Ma, M., Li, M., Cao, Y. and Liu, W., 2019. Analysis of the vibration mitigation characteristics of the ballasted ladder track with elastic elements. *Sustainability*, 11(23), p.6780.
- Radiana, S.G., 2008. Discrete fourier transform menjadi fast fourier transform. *Jurusan Teknik Elektro, FT Universitas Gajah Mada*.
- Ramos, L.F., Marques, L., Lourenço, P.B., De Roeck, G., Campos-Costa, A. and Roque, J., 2010. Monitoring historical masonry structures with operational modal analysis: two case studies. *Mechanical systems and signal processing*, 24(5), pp.1291-1305.
- Saisi, A., Gentile, C. and Guidobaldi, M., 2015. Post-earthquake continuous dynamic monitoring of the Gabbia Tower in Mantua, Italy. *Construction and Building Materials*, 81, pp.101-112.
- Shrivastava, R.K. and Rao, N.K., 2002. Response of soil media due to impulse loads and isolation using trenches. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 22(8), pp.695-702.
- Singh, J., Saha, K., Leinberger, D. and Antle, J., 2017. Measurement and analysis of transport vibration for ltl freight utilizing stowage optimization equipment. *Journal of Packaging Technology and Research*, 1, pp.3-11.
- Sun, C. and Gao, L., 2017. Medium-to-low-speed freight rail transport induced environmental vibration and analysis of the vibration isolation effect of building slope protection piles. *Journal of Vibroengineering*, 19(6), pp.4531-4549.
- Tadigadapa, S.A.K.M. and Mateti, K., 2009. Piezoelectric MEMS sensors: state-of-the-art and perspectives. *Measurement Science and technology*, 20(9), p.092001.
- Takemiya, H., 2004. Field vibration mitigation by honeycomb WIB for pile foundations of a high-speed train viaduct. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 24(1), pp.69-87.
- TATÌ, M.B., CIANETTI, M.M. and DE CANIO, G.E.R.A.R.D.O., 2018. Impact of traffic vibration on the temple of Minerva Medica, Rome: preliminary study within the CO. B. RA. project. *Heritage Architecture Studies*, p.105.
- Tihanyi-Kovács, R., Ásványi, B., Lakatos, E., Bánáti, F., Varga, L. and Böröcz, P., 2023. Effect of simulated transport conditions on microbiological properties of bottled natural mineral water. *Water*, 15(9), p.1757.
- Tobing, I.M., Fikri, F. and Siregar, A.M.R., 2023. Pengaruh Getaran Kereta Api Terhadap Bangunan yang Berdekatan dan Solusi (Studi Kasus: Jalur Kereta Api Natar-Panjang). *REKAYASA: Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Lampung*, 27(3), pp.1-5.
- Ubertini, F., Comanducci, G., Cavalagli, N., Pisello, A.L., Materazzi, A.L. and Cotana, F., 2017. Environmental effects on natural frequencies of the San Pietro bell tower in Perugia, Italy, and their removal for structural performance assessment. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 82, pp.307-322.
- Vasheghani, M., Sadeghi, J. and Khajehdezfoly, A., 2022. Legal consequences of train-induced structure borne noise and vibration in residential buildings. *Noise Mapping*, 9(1), pp.170-188.
- VURSAVUŞ, K.K. and Özgüven, F., 2004. Determining the effects of vibration parameters and packaging method on mechanical damage in golden delicious apples. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 28(5), pp.311-320.
- Wati, E.K., Maharani, A. and Anagga, F., 2020. Sistem Pemantauan Getaran Pada Jalur Soft Track Secara Online. *STRING (Satuan Tulisan Riset dan Inovasi Teknologi)*, 5(2), pp.184-190.
- Xia, H., Cao, Y., De Guido, R. and Geert, D., 2007. Environmental problems of vibrations induced by railway traffic. *Frontiers of Architecture and Civil Engineering in China*, 1, pp.142-152.
- Zhou, H. and Wang, Z.W., 2018. Measurement and analysis of vibration levels for express logistics transportation in South China. *Packaging Technology and Science*, 31(10), pp.665-678.