

Pengukuran Getaran Mekanik Berdasarkan Jenis Bangunan

Mechanical Vibration Measurement Based on Building Type

Budi Purwanto, Zulfachmi, dan Pramana Budi Purwaka

Pusat Standardisasi Instrumen Kualitas Lingkungan Hidup - Badan Standardisasi Instrumen Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Kawasan PUSPIPTEK Gedung 210 Jalan Raya Serpong, Tangerang Selatan, 15310
E-mail: sipurman@gmail.com

Diterima 13 April 2022, direvisi 20 April 2022, disetujui 27 April 2022

ABSTRAK

Pengukuran Getaran Mekanik Berdasarkan Jenis Bangunan. Dampak getaran diketahui menjadi salah satu isu yang diangkat masyarakat yang mengklaim terdampak suatu kegiatan selain pencemaran udara, air maupun tanah. Getaran dianggap mengganggu kenyamanan dan kesehatan, serta pada tahap yang lebih tinggi dapat merusak struktur bangunan yang telah dihuni masyarakat sekitar kegiatan. KEPMENLH 49/1996 telah mengatur tentang baku tingkat getaran dan metode pengukurannya, namun seiring waktu maka perlu dimutakhirkan mengingat ada perbedaan rentang frekuensi dominan bagi beberapa jenis pengukuran tingkat getaran. Metode pengukuran yang terdapat pada Lampiran V KEPMENLH 49/1996 juga perlu ditinjau ulang karena masih menggunakan metode pengukuran yang sama walaupun pada beberapa jenis pengukuran tingkat getaran yang berbeda. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan metode pengukuran tingkat getaran pada Lampiran V KEPMENLH No 49/1996 terhadap metoda pengukuran lain yang tersedia dan diakui serta dapat diterapkan menggunakan peralatan yang tersedia saat ini. Pengambilan data dilakukan pada beberapa titik di Provinsi DKI Jakarta, Sulawesi Selatan dan Jawa Tengah pada bulan April – Juli 2016 oleh tim PSIKLH menggunakan alat InstanTel Mimate Pro 6. Setiap sesi pengukuran dilakukan pengambilan data pada dua titik ukur secara simultan dengan masing-masing titik ukur diperoleh nilai tingkat getaran pada tiga sumbu ortogonal (sumbu X, Y dan Z). Hasil penelitian ini mendapatkan bahwa pengukuran getaran di beberapa kota di Indonesia masih memiliki nilai tingkat getaran yang belum melampaui baku tingkat getaran yang dipersyaratkan pada Lampiran III KEPMENLH 49/1996, sehingga dapat disimpulkan bahwa metode pengukuran *International Organization for Standardization ISO 4866 Mechanical vibration and shock - Vibration of fixed structures - Guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on structures* dapat menjadi rujukan untuk mengevaluasi dampak getaran terhadap bangunan.

Kata kunci: Dampak getaran, frekuensi, baku tingkat

ABSTRACT

Mechanical Vibration Measurement Based on Building Type. The impact of vibration is associated to be one of the issues raised by people who claim to be affected by an activity besides air, water and soil pollution. Vibration is considered to interfere with comfort and health, and at a higher stage, it may damage the building structure that has been inhabited by the community around the activity. KEPMENLH 49/1996 has regulated the vibration level standards and measurement methods, however, as time goes by, updating is required, considering that there are differences in the dominant frequency range for several types of vibration level measurement. The measurement method contained in Appendix V of KEPMENLH 49/1996 also needs to be reviewed considering that it still uses the same measurement method even though there are several different types of vibration level measurements. This study aims to compare the vibration level measurement method in Appendix V of KEPMENLH 49/1996 against other available and recognized measurement methods that can be applied using currently available instruments.. Data collection was carried out at several points in the Provinces of DKI Jakarta, South

Sulawesi and Central Java on April-July 2016 by PSIKLH team using the InstanTel Minimate Pro 6. Each measurement session carried out data collection at two measuring points simultaneously with each measuring point obtained the value of the vibration level at three orthogonal axis (X, Y and Z axis). The results of vibration measurements in several cities in Indonesia still have a vibration level value that has not exceeded the required vibration level standard as stated in Appendix III KEPMENLH 49/1996. This study concludes that the International Organization for Standardization ISO 4866 Mechanical vibration and shock - Vibration of fixed structures - Guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on structures measurement method can be a reference for evaluating the impact of vibration on buildings.

Keywords: *Vibration impact, frequency, vibration level*

1. Pendahuluan

Kegiatan konstruksi, transportasi kendaraan berat, ataupun kegiatan industri dapat menimbulkan dampak negatif bagi kualitas hidup manusia di sekitarnya, salah satu dampaknya adalah gangguan getaran. Getaran memiliki dampak langsung terhadap kesehatan dan kenyamanan manusia, maupun dampak tidak langsung terhadap manusia seperti kerusakan fisik bangunan (Kowalska-Koczwara, Pachla, & Nering, 2021). Dengan meningkatnya aktivitas pemicu getaran di lingkungan, seperti lalu lintas jalan, kereta api, industri dan aktivitas gedung (Bronkhorst, Moretti, & Geurts, 2021), maka penting untuk mengambil tindakan pencegahan dengan menerbitkan regulasi dan standar teknis terkait getaran sebab orang-orang yang tinggal di gedung harus diberikan kenyamanan dari dampak getaran (Kawecki & Stypula, 2013).

Pemerintah melalui Menteri Negara Lingkungan Hidup telah menerbitkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor KEP-49/MENLH/11/1996 tentang Baku Tingkat Getaran (disingkat KEPMENLH 49/1996) yang mengatur baku tingkat getaran untuk kenyamanan dan kesehatan di Lampiran I, baku tingkat getaran mekanik berdasarkan dampak kerusakan di Lampiran II, baku tingkat getaran mekanik berdasarkan jenis bangunan di Lampiran III, baku tingkat getaran kejut yang

terdapat dalam Lampiran IV serta metoda pengukuran dan analisis tingkat getaran di dalam Lampiran V (KLH, 1996a).

Metoda pengukuran dan analisis tingkat getaran yang dituliskan dalam Lampiran V menyamaratakan metode dan analisis getaran untuk kenyamanan dan kesehatan dengan getaran untuk keutuhan gedung. Pengukuran getaran di dunia internasional memiliki metoda standar yang berbeda untuk kenyamanan dan kesehatan dengan getaran untuk keutuhan gedung.

Beberapa metode standard tentang pengukuran getaran terhadap keutuhan gedung memberikan panduan nilai-nilai kecepatan partikel puncak (*peak particle velocity*) dalam domain frekuensi yang diukur di lantai paling bawah dekat fondasi atau di atas tanah yang dekat dengan gedung. Kemungkinan kerusakan gedung akan sangat kecil jika hasil pengukuran berada di bawah nilai yang disarankan standard tersebut (Hunaidi & Tremblay, 1997).

Serangkaian tindakan perlu diambil untuk mengurangi getaran yang ditransmisikan walaupun sangat sulit diterapkan sebab redaman getaran bergantung pada frekuensi, model prediksi yang hanya mempertimbangkan jarak sumber-penerima tidak cocok untuk prediksi yang akurat (Weber, Puckeridge, & Karantonis, 2021). Peredaman getaran yang bersumber dari mobil antara lain dengan penanaman *barrier*

ke dalam tanah untuk mengurangi amplitudo gelombang *Rayleigh* yang merambat dekat dengan permukaan tanah, dan lain-lain. Agar penghalang ini efektif (yaitu untuk mengurangi getaran sekitar 25%), *barrier* harus memiliki kedalaman yang setidaknya sama dengan panjang gelombang *Rayleigh*. Hal ini disebabkan karena getaran yang ditransmisikan kendaraan memiliki frekuensi rendah sehingga panjang gelombangnya relatif tinggi yang mengakibatkan penghalang ini sulit dibangun (Picu & Picu, 2018).

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan metode pengukuran tingkat getaran pada Lampiran V KEPMENLH 49/1996 terhadap metoda pengukuran lain yang tersedia dan diakui serta dapat diterapkan menggunakan peralatan yang tersedia saat ini. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi pertimbangan bagi para pihak yang membutuhkan antara lain laboratorium pengujian dan pemerintah dalam rangka penyempurnaan regulasi.

2. Metodologi

Dalam rangka mencari metode pengukuran tingkat getaran yang sesuai dengan Lampiran III KEPMENLH 49/1996 maka dilakukan studi literatur terhadap metode standar, regulasi, artikel ilmiah maupun buku terkait pengukuran getaran berdasarkan jenis bangunan. Selanjutnya dilakukan uji coba pengukuran menggunakan peralatan yang dimiliki oleh laboratorium Pusat Standardisasi Instrumen Kualitas

Lingkungan Hidup (PSIKLH) untuk mengetahui apakah secara praktis dapat diterapkan.

2.1 Lokasi

Studi literatur dilakukan di kantor PSIKLH, sedangkan pengukuran tingkat getaran dilakukan pada 6 (enam) lokasi berbeda di tiga Provinsi Indonesia yaitu Provinsi DKI Jakarta pada tanggal 13-15 April 2016, di Kota Semarang, Jawa Tengah pada tanggal 12-16 Mei 2016, dan di Kota Makassar Sulawesi Selatan pada tanggal 25-29 Juli 2016 (Tabel 1).

2.2 Peralatan dan Bahan

Peralatan utama yang digunakan pada penelitian ini adalah *Vibration Level Meter* InstanTel Model Minimate Pro 6 (Gambar 1) yang dilengkapi dua buah *geophone* yang masing-masing memiliki sensor penangkap sinyal getaran secara simultan pada tiga arah sumbu yaitu transversal, vertikal dan longitudinal (InstanTel, 2017). Peralatan ini merekam sinyal getaran untuk selanjutnya dianalisa menggunakan perangkat lunak *Blastware*.

2.3 Metode Pengukuran

Pengukuran getaran dilakukan pada dua titik peletakan sensor yaitu di tanah dan di dekat fondasi bangunan. Peletakan sensor di tanah menggunakan paku, sedangkan di dekat fondasi direkatkan hingga posisi sensor stabil.

Waktu pengukuran adalah 15 menit untuk sumber getaran dari lalu lintas,

Tabel 1. Lokasi Pengukuran Tingkat Getaran

Provinsi	Lokasi Pengukuran	Koordinat GPS
DKI Jakarta	Jalan Cakung Cilincing	06°09'11.7"S 106°56'24.2"E
DKI Jakarta	Jalan Bendi Tanah Kusir	06°15'01.8"S 106°46'20.9"E
Jawa Tengah	Jalan Pantura Tugu Semarang	06°59'09.4"S 110°20'43.9"E
Jawa Tengah	Jalan Tugurejo Semarang	06°58'29.2"S 110°20'37.3"E
Sulawesi Selatan	Jalan Perintis Kemerdekaan Makassar	05°04'01.9"S 119°31'30.0"E
Sulawesi Selatan	Jalan Tol Ir. Sutami Makassar	05°05'12.4"S 119°29'05.7"E

Sumber: Data Primer (Zulfachmi & Purwanto, 2016)



Sumber: (Spectrotechnology, 2022)

Gambar 1. InstanTel Minimate Pro 6 dengan dua buah sensor tiga sumbu

sedangkan waktu pengukuran dengan sumber getaran dari kereta api adalah lamanya kereta tersebut melintas. Interval waktu pengukuran sumber getaran dari kegiatan konstruksi adalah selama satu siklus pengeboran, dimulai saat mata bor menyentuh permukaan tanah hingga mata bor telah terangkat sepenuhnya dari tanah.

2.4 Metode Analisis

Data yang dianalisis adalah nilai kecepatan getaran pada rentang frekuensi 1 Hz hingga 100 Hz untuk tiga sumbu *orthogonal* yaitu sumbu transversal, sumbu vertikal dan sumbu longitudinal. Nilai-nilai getaran tersebut lalu dianalisis menggunakan analisis *fast fourier transform* (FFT) untuk mengetahui nilai kecepatan getaran partikel puncak (*peak particle velocity*) dan nilai frekuensinya.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Estimasi Rujukan Metode Pengukuran Tingkat Getaran KepMen LH No. 49 Tahun 1996

Tabel pada Lampiran III KepMen LH No. 49 Tahun 1996 jika dibandingkan dengan Tabel yang ada di *Deutsches Institut für Normung* (DIN) 4150-3 (lihat Tabel 3) maka akan ditemukan kemiripan. Dengan demikian, dapat diestimasi bahwa saat penyusunan baku tingkat getaran pada

Lampiran III KepMen LH No. 49 Tahun 1996 tersebut mengacu kepada metode standar pengukuran getaran yang diterbitkan DIN tersebut.

DIN 4150-3 telah beberapa kali direvisi, revisi pertama di tahun 1986, kedua di tahun 1999 dan terakhir direvisi tahun 2016. Merunut dari riwayat revisi standar tersebut maka dapat diestimasi juga acuan yang kemungkinan digunakan sebagai referensi dalam penyusunan baku tingkat getaran khususnya untuk Lampiran III yaitu dari DIN 4150-3 revisi tahun 1986, mengingat regulasi tersebut diterbitkan tahun 1996.

Metode standar lain yang digunakan untuk mengukur tingkat getaran oleh negara lain selain Jerman dengan aspek yang serupa dapat dilihat di *British Standard BS 7385* yang diterbitkan Inggris, *Swiss Norm SN 640 312a* yang diterbitkan Swiss, *Poland Norm PN-88/B-02171* oleh Polandia (PN-88/B-02171, 1988) dan *Ente Nazionale Italiano di Unificazione UNI 9916* yang diterbitkan Italia. Standar yang diterbitkan organisasi internasional untuk standarisasi ISO terkait tema tersebut ada di ISO 4866 yang terakhir di revisi tahun 2010 (ISO, 2010).

Hasil studi literatur tersebut juga menemukan bahwa metode pengukuran dan analisis tingkat getaran tidak sama untuk

Tabel 2. Lampiran III KepMen LH No. 49 Tahun 1996

Kelas	Tipe Bangunan	Kecepatan getaran (mm/detik)			
		pada fondasi			pada bidang datar di lantai atas
		frekuensi			campuran frekuensi
		< 10 Hz	10 – 50 Hz	50 - 100 Hz	
1	Bangunan untuk keperluan niaga, bangunan industri dan bangunan sejenis	20	20 - 40	40 - 50	40
2	Perumahan dan bangunan dengan rancangan dan kegunaan sejenis	5	5 - 15	15 - 20	15
3	Struktur yang karena sifatnya peka terhadap getaran, tidak seperti tersebut pada no 1 dan no 2, nilai budaya tinggi seperti bangunan yang dilestarikan	3	3 - 8	8 - 10	8.5

Sumber: (KLH, 1996b)

Tabel 3. Pedoman Nilai Kecepatan Getaran untuk Mengevaluasi Efek Getaran Jangka Pendek pada Struktur menurut DIN 4150-3

Colomn Line	Type of structure	Guideline values for $v_{i,max}$ in mm/s				
		Foundation, all directions, $i=x, y, z$ at a frequency of			Topmost floor, Horizontal direction, $i = x, y$	Floor slabs, vertical direction, $i = x, y$
		1 Hz to 10 Hz	10 Hz to 50 Hz	50 Hz to 100 Hz ^a	All frequencies	All frequencies
		2	3	4	5	6
1	Building used for commercial purposes, industrial buildings, and buildings of similar design	20	20 to 40	40 to 50	40	20
2	Residential buildings and buildings of similar design and/or occupancy	5	5 to 15	15 to 20	15	20
3	Structures that, because of their particular sensitivity to vibration, cannot be classified under lines 1 and 2 are of great intrinsic value (e.g. listed buildings)	3	3 to 8	8 to 10	8	20 ^b
Note	Even if guideline values as in line 1, columns 2 to 5, are complied with, minor damage cannot be excluded					

^a at frequencies above 100 hz, the guideline values for 100 Hz can be applied as minimum values.^b Paragraph 2 of 5.1.2 shall be observed

Sumber: (DIN, 1999)

semua getaran mekanik dan kejut seperti yang tercantum di Lampiran V KepMen LH No. 49 Tahun 1996 yang menyamakan metode pengukuran dan analisis tingkat getaran untuk semua jenis pengukuran getaran mekanik. Antara lain rentang frekuensi analisis hasil pengukuran getaran yang berbeda, bila di Lampiran V dimulai dari 4 Hz hingga 63 Hz dengan peningkatan sepertiga oktaf (13 buah data hasil pengukuran) sedangkan metode pengukuran DIN 4150 dimulai dari 1 Hz hingga 100 Hz.

3.2 Hasil Pengukuran Getaran

Hasil pengukuran tingkat getaran yang bersumber dari lalu lintas kendaraan, kereta api dan pekerjaan konstruksi dapat dilihat pada Tabel 4. Nilai-nilai tingkat getaran hasil pengukuran tersebut tidak ada yang melampaui baku tingkat getaran yang tercantum di KepMen LH No. 49 Tahun 1996.

Getaran akibat lalu lintas dapat menjadi alasan keluhan serius dari orang-orang yang tinggal di dalam gedung yang mengalami getaran (Jakubczyk-Galczyńska & Jankowski, 2014). Frekuensi dominan dari tingkat getaran yang bersumber dari

lalu lintas menurut studi Staalduinen dan Smits berada pada interval 5 Hz hingga 15 Hz dengan rincian kendaraan kecil yang melintas sekitar 5 Hz dan kendaraan berat atau truk antara 5 Hz hingga 15 Hz (van Staalduinen & Smits, 1991).

Dari hasil pengukuran getaran yang bersumber dari kendaraan untuk tiap kota memiliki rentang frekuensi dominan yang berbeda meskipun masih dalam interval frekuensi yang terdapat pada ISO 4866 yaitu 1 Hz hingga 80 Hz. Perbedaan frekuensi dominan ini bisa disebabkan oleh kecepatan kendaraan, jumlah kendaraan, dan karakteristik peredaman oleh tanah yang berbeda.

Geurts dkk. menemukan bahwa tingkat getaran terkecil adalah getaran yang bersumber dari kereta api (Geurts, Bronkhorst, Moretti, Pruiksmā, & Snijders, 2020), sementara hasil pengukuran pada Tabel 4. untuk justru menunjukkan sebaliknya. Hal ini antara lain disebabkan oleh jarak sumber getaran dengan sensor penangkap sinyal getaran yang berbeda dan jenis mesin penggerak atau lokomotif serta jumlah rangkaian kereta.

Tabel 4. Hasil Pengukuran Getaran dengan Sumber Getaran Lalu Lintas

Lokasi Pengukuran	Posisi Sensor	Sumber Getaran	Frekuensi (Hz)	Kecepatan Getaran Puncak (mm/s)
Jalan Cakung Cilincing	lantai	lalu lintas	3.5 - 5.4	0.812 - 1.4
Jalan Cakung Cilincing	fondasi	lalu lintas	4.7 - 6	1.06 - 1.4
Jalan Bendi Tanah Kusir	fondasi	kereta api	17.7 - 47	0.733 - 10
Jalan Bendi Tanah Kusir	fondasi	kereta api	64	1.1
Jalan Pantura Tugu	lantai	lalu lintas	17.7 - 24	1.47 - 2.76
Jalan Pantura Tugu	fondasi	lalu lintas	15.8 - 21	0.82 - 1.33
Jalan Tugurejo	lantai	kereta api	10.4 - 49	0.883 - 6.78
Jalan Tugurejo	fondasi	kereta api	57	8.13
Jalan Perintis Kemerdekaan	lantai	konstruksi	9.3	5.41
Jalan Perintis Kemerdekaan	fondasi	konstruksi	22	0.591
Jalan Tol Ir. Sutami	lantai	lalu lintas	12.5 - 49	0.386 - 0.631
Jalan Tol Ir. Sutami	fondasi	lalu lintas	<1 - 5.8	0.0946 - 0.11

Sumber : Data Primer (Zulfachmi & Purwanto, 2016)

Data hasil pengukuran tingkat getaran yang bersumber dari kereta api di Jakarta dan Semarang menunjukkan tingkat getaran terletak pada rentang frekuensi dominan yang relatif dekat dengan hasil studi Ying Hao dkk. yaitu berada pada sekitar 50 Hz dimana kajian tersebut berada pada kisaran spektrum frekuensi 40, 50, 63 dan 80 Hz (Hao, Qi, Liu, Nian, & Zhang, 2022). Sedangkan nilai tingkat getaran memiliki perbedaan karena jenis kereta api yang diukur yaitu kereta api listrik dan kereta api diesel serta jumlah rangkaian kereta api antara 8 hingga 10 kereta dibandingkan dengan kereta api diesel yang memiliki rangkaian lebih dari 12 kereta/gerbong.

Lokasi konstruksi dapat menghasilkan tingkat getaran yang tinggi, karena proses konstruksi dan penggunaan alat berat. Hal ini dapat menyebabkan gangguan, membatasi kegiatan-kegiatan tertentu dan merusak bangunan yang berdampingan, khususnya di daerah perkotaan yang padat (Sakiyama, Lehmann, & Garrecht, 2008).

Pengukuran getaran yang bersumber dari kegiatan konstruksi dalam hal ini pengeboran tiang pancang di Jalan Perintis Kemerdekaan Makassar memiliki frekuensi dominan 9.3 Hz dan 22 Hz, temuan ini sesuai dengan hasil riset Muller yang menyatakan bahwa frekuensi dominan dari getaran yang disebabkan pemasangan tiang pancang berada pada interval 5 hingga 25 Hz (Muller, 2007). Terlihat juga bahwa rentang frekuensi yang jauh antar dua titik pengukuran yang berbeda, hal ini mungkin disebabkan oleh arah/ sudut paku bumi yang berbeda mengingat terdapat signifikansi perambatan getaran oleh arah flens tiang pancang dan permukaan terbuka (Athanasopoulos-Zekkos, Woods, & Grizi, 2013).

4. Simpulan

Baku tingkat getaran mekanik berdasarkan jenis bangunan yang terdapat dalam Lampiran III KepMen LH No. 49 Tahun 1996 memiliki kesamaan dengan tabel

nilai rujukan untuk evaluasi dampak getaran jangka pendek pada struktur bangunan yang terdapat dalam DIN 4150-3 1999. Data hasil pengukuran getaran di Jakarta, Semarang, dan Makassar untuk sumber getaran lalu lintas, kereta api, dan kegiatan konstruksi hampir semua (90%) masuk dalam rentang nilai rujukan yang terdapat dalam ISO 4866 : 2010.

Metode pengukuran dan analisa data pada Lampiran V KepMen LH No. 49 Tahun 1996 dapat disempurnakan dengan menyesuaikan jenis tingkat getaran yang diukur dan metode ISO 4866 dapat digunakan sebagai rujukan khususnya untuk mengevaluasi dampak tingkat getaran terhadap bangunan.

5. Ucapan Terima Kasih

Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada Pusat Standardisasi Instrumen Kualitas Lingkungan Hidup (PSIKLH) yang telah memberikan dana, peralatan dan fasilitas pada kegiatan riset ini. Penulis juga memberikan apresiasi kepada rekan kami Andriantoro dan semua pihak yang telah membantu kelancaran kegiatan riset dari awal hingga akhir.

6. Kepengarangan

Seluruh penulis merupakan suatu kesatuan tim tak terpisahkan yang memberikan kontribusi dalam tiap bagiannya. Penulis ke 1 melakukan penyusunan tulisan dan verifikasi data, sementara Penulis ke 2 dan ke 3 melakukan pengujian, pengolahan, dan membantu interpretasi data.

Daftar Pustaka

- Athanasopoulos-Zekkos, A., Woods, R. D., & Grizi, A. (2013). *Effect of pile-driving induced vibrations on nearby structures and other assets*. Retrieved from
- Bronkhorst, O., Moretti, D., & Geurts, C. (2021). *Vibration threshold exceedances in the Groningen building vibration monitoring*

- network. *Frontiers in Built Environment*, 109.
- DIN. (1999). DIN 4150-3 Vibration in building - Part 3: Effects on Structures *Part 3: Effects on Structures*. Berlin: Deutsches Institut für Normung.
- Geurts, C., Bronkhorst, O., Moretti, D., Pruiksma, J., & Snijders, R. (2020). Characterization of vibrations measured in the Groningen building monitoring network. *EASD Procedia*, 1147.
- Hao, Y., Qi, H., Liu, S., Nian, V., & Zhang, Z. (2022). Study of noise and vibration impacts to buildings due to urban rail transit and mitigation measures. *Sustainability*, 14(5), 3119.
- Hunaidi, O., & Tremblay, M. (1997). Traffic-induced building vibrations in Montréal. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 24(5), 736-753.
- Instantel. (2017). *Minimate Pro Operator Manual*. Canada: Instantel.
- ISO. (2010). ISO 4866:2010 Mechanical vibration and shock – Vibration of fixed structures - Guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on structures *Vibration of fixed structures - Guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on structures*. Geneva: International Organization for Standardization.
- Jakubczyk-Galczyńska, A., & Jankowski, R. (2014). *Traffic-induced vibrations. The impact on buildings and people. Paper presented at the Environmental Engineering*. Proceedings of the International Conference on Environmental Engineering (ICEE).
- Kawecki, J., & Stypula, K. (2013). Designing roads near the buildings providing the necessary vibrational comfort for the residents. *Procedia Engineering*, 57, 549-556.
- KLH. (1996a). *Baku Tingkat kebisingan Jakarta* (Vol. KepMenLH No 48 Tahun 1996). Jakarta.
- KLH. (1996b). Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor KEP-49/MENLH/11/1996 tentang Baku Tingkat Getaran. Jakarta: Kementerian Menteri Negara Lingkungan Hidup.
- Kowalska-Koczwara, A., Pachla, F., & Nering, K. (2021). *Environmental protection against noise and vibration*. Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.
- Muller, T. (2007). Meten, beoordelen en voorspellen van trillingen in de bouw. *Geotechniek*, 40-46.
- Picu, M., & Picu, L. (2018). Experimental study of road traffic vibrations impact on heritage buildings in Braila, Romania *Acoustics and Vibration of Mechanical Structures – AVMS-2017* (pp. 389-395): Springer.
- PN-88/B-02171. (1988). Evaluation of vibrations influence on people in buildings, Polandia: Polski Komitet Normalizacyjny. Warsaw: Komitet Normalizacyjny
- Sakiyama, F., Lehmann, F., & Garrecht, H. (2008, 6-8 November 2018). *Vibration monitoring of a telecommunication base station building according to the standards DIN 4150-3 and ETSI EN 300 019-1-3*. Paper presented at the DEFECTOSKOPIE 2018
- Spectotechnology. (2022). Instantel Vibration Monitors. Retrieved from <https://www.spectotechnology.com/product/instantel-micromate/>
- van Staalduinen, P., & Smits, M. (1991). Trillingscriteria mbt schade aan gebouwen.
- Weber, C., Puckeridge, H., & Karantonis, P. (2021). Field Measurements of the Attenuation of Vibration Between an Underground Tunnel and Ground Surface Through Sydney Sandstone and Shale. *Vibration Engineering for a Sustainable Future* (pp. 21-27): Springer.
- Zulfachmi, & Purwanto, B. (2016). *Laporan pengembangan metode pengukuran getaran lingkungan 2016*. Retrieved from Serpong: