

Tinjauan Literatur Sistematis: Faktor-faktor Getaran Akibat Transportasi Kereta Api dan Jalan Raya

Dewi Handayani², Lydia Novitriana Nurhidayati¹, Rasyid Bintang Ardiansyah¹, Willy Anastasya Ilonka^{3*},

¹ Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Kota Surakarta, Indonesia 57125

² Pusat Penelitian Lingkungan Hidup (PPLH) - Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia, 57126

³ Program Magister Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Kota Surakarta, Indonesia 57125

Received: 13/03/2025 Accepted: 23/04/2025

Abstract

Transportation plays a crucial role in daily life, supporting the mobility of people, goods, and services. With efficient and well-developed transportation infrastructure, travel time, vehicle wear, and traffic congestion can be significantly reduced, while also fostering local and regional economic development. However, alongside these benefits, transportation also has negative impacts, particularly in the form of vibrations that can affect the surrounding environment. These vibrations can disrupt the comfort and health of the community and cause damage to nearby infrastructure. This underscores the importance of mitigating the effects of vibrations, especially those generated by railway and road transportation. Effective mitigation strategies must begin with an understanding of the causes and impacts of these vibrations. This Systematic Literature Review aims to identify the factors that cause vibrations from transportation activities and their effects on both the surrounding environment and the transportation infrastructure itself. The findings are expected to serve as a valuable reference for future research on mitigating transportation-induced vibrations.

Keywords: Road Vehicle; Train; Transportation Induced; Vibrations.

Abstrak

Transportasi memegang peranan penting dalam kehidupan sehari-hari, mendukung mobilitas orang, barang, dan jasa. Dengan infrastruktur transportasi yang efisien dan berkembang dengan baik, waktu tempuh, keausan kendaraan, dan kemacetan lalu lintas dapat dikurangi secara signifikan, sekaligus mendorong pembangunan ekonomi lokal dan regional. Namun, di samping manfaat-manfaat tersebut, transportasi juga memiliki dampak negatif, khususnya dalam bentuk getaran yang dapat memengaruhi lingkungan sekitar. Getaran tersebut dapat mengganggu kenyamanan dan kesehatan masyarakat serta menyebabkan kerusakan pada infrastruktur di sekitarnya. Hal ini menggarisbawahi pentingnya mengurangi dampak getaran, khususnya yang dihasilkan oleh transportasi kereta api dan jalan raya. Strategi mitigasi yang efektif harus dimulai dengan pemahaman tentang penyebab dan dampak getaran tersebut. Tinjauan Pustaka Sistematis ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang menyebabkan getaran dari aktivitas transportasi dan dampaknya terhadap lingkungan sekitar dan infrastruktur transportasi itu sendiri. Temuan-temuan ini diharapkan dapat menjadi referensi yang berharga untuk penelitian masa depan tentang mitigasi getaran yang disebabkan oleh transportasi.

Kata kunci: Getaran; Kendaraan; Kereta; Transportasi

* **Corresponding Author:** willyai@student.uns.ac.id

PENDAHULUAN

Transportasi memainkan peran penting dalam kehidupan sehari-hari, tingginya permintaan membuat transportasi menjadi hal yang esensial dalam mobilisasi barang dan jasa (Handayani dkk, 2024). Transportasi berfungsi sebagai alat untuk memudahkan pergerakan manusia, barang, dan jasa (Karim dkk, 2023). Infrastruktur transportasi yang baik dan efisien mengurangi waktu perjalanan, kerusakan kendaraan, dan kemacetan (Mangharam dkk, 2017) sekaligus mendukung pembangunan ekonomi lokal dan regional memfasilitasi mobilitas barang dan orang, mempercepat waktu tempuh, dan meningkatkan efisiensi operasional (Nur dkk, 2021). Pesatnya urbanisasi dan pertumbuhan penduduk di Indonesia telah meningkatkan kebutuhan akan transportasi (Rukmana. D, 2018). Transportasi jaringan kereta api dan jalan raya memiliki peran penting dalam mobilitas masyarakat dan memiliki keunggulan sebagai moda transportasi yang efisien (Sontakke. K. S, 2020). Transportasi jalan raya memiliki banyak keuntungan seperti aksesibilitas ke daerah terpencil, layanan dari pintu ke pintu, dan fleksibilitas (Shalva Uriadmkopeli. S. U, 2024). Transportasi kereta api juga memberikan keuntungan seperti efisiensi waktu dan kenyamanan berkendara (Hong dkk, 2015).

Selain manfaat yang diberikan, operasional transportasi juga membawa dampak negatif, salah satunya adalah getaran yang dihasilkan oleh kendaraan darat. Getaran akibat transportasi kendaraan darat dapat terjadi pada beberapa moda, yaitu kereta api (alfira dkk, 2023), bus (Makovi. D, 2005), truk (Mhanna dkk, 2012), dan mobil (Hegde dkk, 2019). Getaran yang dihasilkan oleh transportasi memiliki dampak negatif baik pada bangunan hunian maupun penghuninya (Erkal. A, 2019). Getaran akibat operasional transportasi dapat memberikan dampak signifikan terhadap kesehatan manusia, lingkungan, dan infrastruktur (Jakubczyk-Galczyńska & Jankowski, 2014). Pada manusia paparan getaran yang berkepanjangan dapat menyebabkan gangguan tidur, stres, dan masalah kesehatan lainnya (Arnberg, 2019). Bagi infrastruktur, getaran akibat transportasi berpotensi merusak jembatan seiring berjalannya waktu (Snæbjörnsson dkk, 2020). Getaran akibat moda transportasi kereta api juga bisa membuat kerusakan bangunan di sekitar rel, kelongsoran pada lokasi tanah timbunan dan akan mengakibatkan terjadinya defleksi yang akan berdampak pada struktur rel dan tanah dasar dibawahnya (Afrihansyah. M, 2020) yang dapat membuat tambahan pada biaya rehabilitasi (Magnusson, 2011).

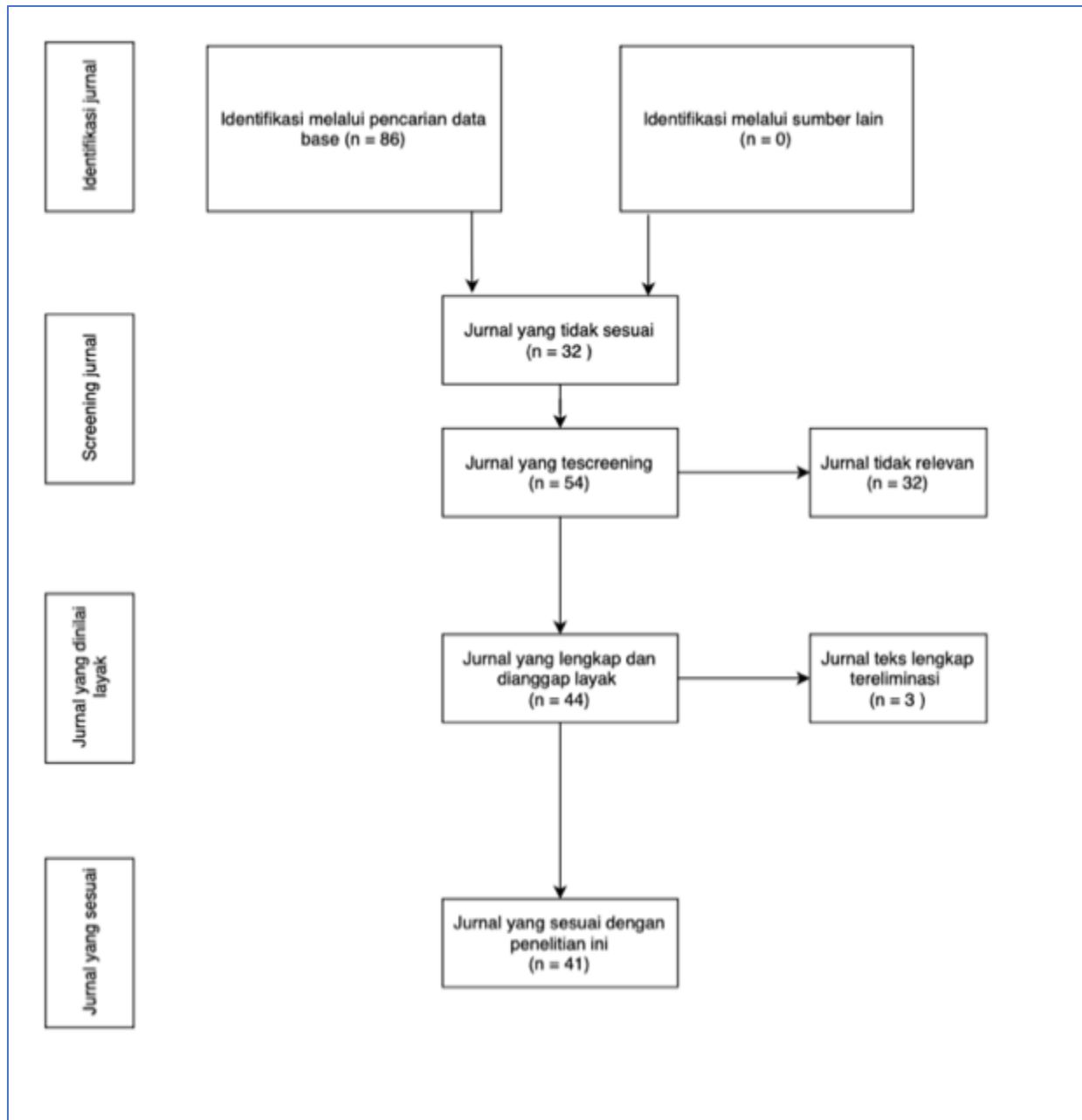
Pertumbuhan jumlah penduduk terutama di daerah perkotaan memerlukan lahan untuk permukiman. Keterbatasan lahan dan kemampuan ekonomi, menjadikan perkembangan permukiman sebagian masyarakat terpaksa tinggal di sekitar jalan kereta api. Di lain sisi transportasi kereta api dan jalan raya berada pada daerah yang dekat dengan perkotaan sehingga dapat menimbulkan getaran yang diakibatkan oleh transportasi (Purwanto dkk, 2022). Bangunan di area perkotaan memiliki respon yang lebih tinggi terhadap getaran transportasi (Erkal. A, 2020). Maka dari itu perlu dipahami penyebab getaran untuk selanjutnya dapat dilakukan mitigasi dengan lebih tepat.

Tujuan utama dari *systematic literature review* ini adalah untuk mengidentifikasi faktor-faktor penyebab getaran yang dihasilkan oleh aktivitas transportasi. Dengan *systematic literature review* ini diharapkan dapat diperoleh pemahaman faktor-faktor yang berkontribusi terhadap terjadinya getaran akibat transportasi. Pemahaman akan hal tersebut dapat memberikan landasan ilmiah yang kuat bagi pengembangan strategi mitigasi yang lebih efektif untuk mengurangi dampak getaran pada lingkungan akibat transportasi.

METODE PENELITIAN

Artikel ini melakukan tinjauan literatur sistematis yaitu proses pencarian, penilaian, dan interpretasi semua bahan studi yang ada (Triandini dkk, 2019). Dengan tujuan untuk membangun kerangka penelitian yang jelas dengan merangkum teori, kesimpulan, dan wawasan utama dari materi referensi (Agustina, 2023). Penelitian ini mengacu pada 40 jurnal serta rentang waktu jurnal dalam kurun waktu 10 tahun terakhir. Sebagian besar data diperoleh dari sumber-sumber daring, dengan situs-situs seperti *Science Direct*, *ResearchGate*, *Springer*, *Scopus*, dan *Google Scholar* menjadi referensi utama.

Pada tahap ini dilakukan evaluasi terhadap jurnal-jurnal yang telah diidentifikasi pada tahap pencarian dengan mempertimbangkan kriteria inklusi dan eksklusi yang ditetapkan (Maulida dkk, 2023). Kriteria inklusi pada penelitian ini yaitu pemilihan jurnal dipilih berdasarkan tahun dipublikasikannya yaitu dalam kurun waktu 10 tahun terakhir (2014-2024), subjek faktor getaran akibat transportasi, dan jurnal *full text*. Kriteria eksklusi yang digunakan adalah jurnal yang membahas selain dari faktor getaran akibat transportasi. Berikut merupakan tahap ekstraksi data, dari 86 jurnal terdapat 44 jurnal yang terpilih dan dianggap layak dengan kriteria judul sesuai dengan penelitian ini. Jurnal yang tereliminasi sebanyak 32 jurnal merupakan jurnal yang memiliki judul tidak sesuai dengan penelitian ini dan memiliki teks yang tidak lengkap.

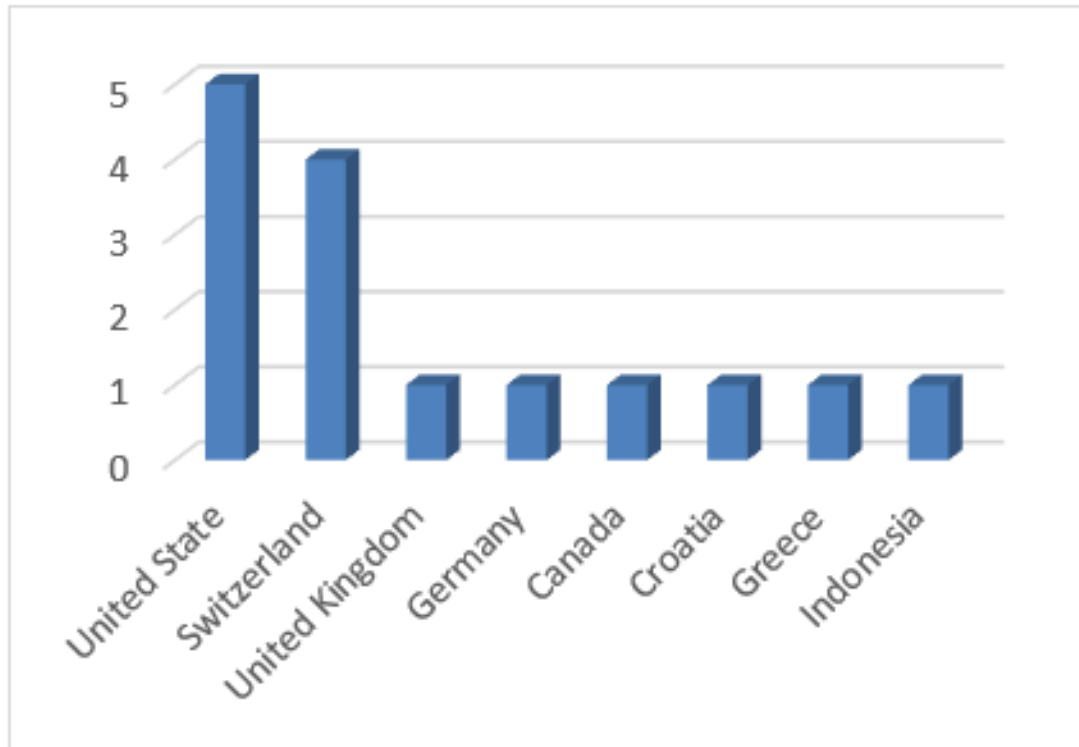


Gambar 1. Diagram Alir Proses Pencarian Literatur

Penelitian ini menggunakan metode PRISMA-P (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses Protocols*). PRISMA-P adalah panduan yang terdiri dari *checklist* dan *flow diagram* yang digunakan untuk mempermudah proses pengumpulan dan perangkuman data yang telah dikumpulkan (Moher, 2015). Diagram alir *screening* jurnal dapat dilihat pada Gambar 1.

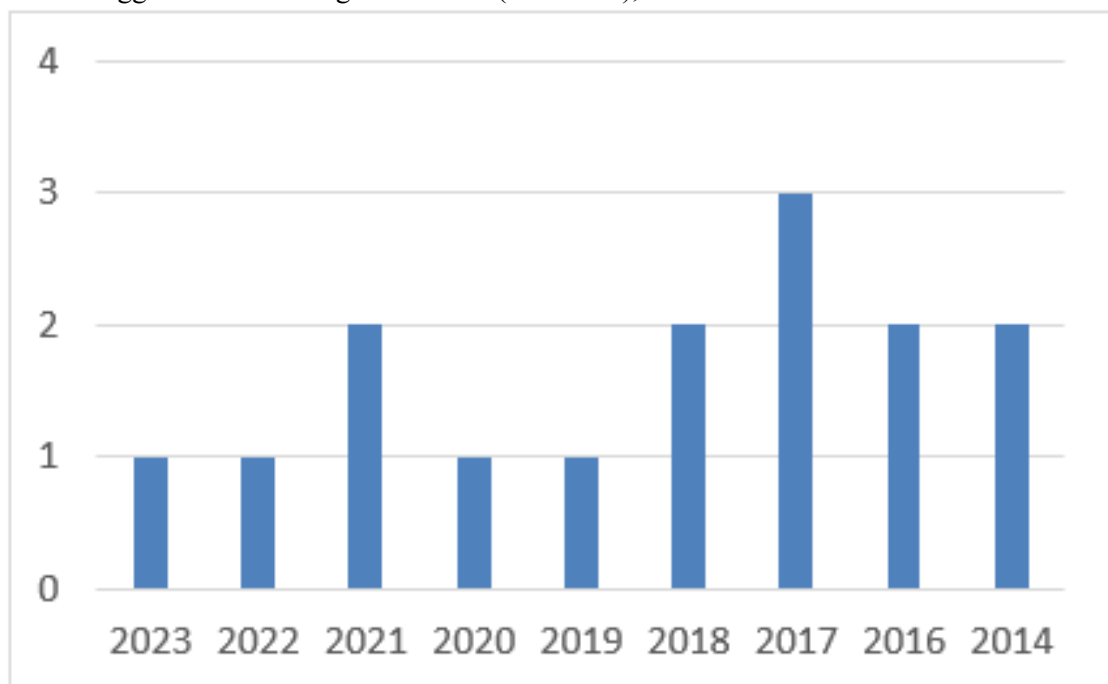
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil tinjauan literatur sistematis pada 15 jurnal yang digunakan pada inti pembahsasan SLR ini dapat disampaikan berdasar sumber negara tempat publikasi dan tahun publikasi. Dari hasil penelusuran asal sumber jurnal menunjukkan sumber publikasi paling banyak berasal dari United State (5 Jurnal) dan Switzerland (4 Jurnal), sedangkan negara lain masing-masing 1 Jurnal. Gambaran lebih lengkap negara publikasi dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Literatur Berdasarkan Negara Publikasi

Ditinjau dari tahun publikasi, literatur yang digunakan dipastikan dalam jangka waktu 10 tahun terakhir. Gambar 2 menunjukkan bahwa literatur yang digunakan terwakili di hampir setiap tahun, dari tahun 2014 hingga 2023 dari 8 negara di dunia (Gambar 3), termasuk Indonesia.



Gambar 3. Literatur Berdasarkan Tahun Publikasi

Setelah dilakukan analisis, Tabel 1 memberikan beberapa literatur yang menjelaskan faktor-faktor yang menyebabkan getaran transportasi kereta api dan kendaraan jalan raya serta akibat atau dampak dari getaran tersebut sesuai dengan referensi dari literatur yang diberikan. Kajian ini membedakan getaran akibat transportasi berdasarkan jenis transportasi, kemudian diperdalam menjadi faktor penyebab dan akibat dari getaran akibat transportasi. Dari sumber getaran, faktor penyebab getaran dibedakan atas faktor sarana dan prasarana. Hal ini dilakukan karena sumber getaran dapat berasal dari sarana dan prasarana dari transportasi (Xia dkk, 2007). Lalu dampak getaran juga dibedakan atas dua kategori yaitu kategori dampak terhadap sarana, fasilitas sarana dan prasarana, dan gabungan antara keduanya. Pembeda ini juga dilakukan karena getaran yang dihasilkan akibat transportasi kereta api dan jalan raya dapat berdampak pada ketiga aspek tersebut.

Tabel 1. Faktor-Faktor Penyebab Getaran Akibat Aktivitas Kereta Api dan Jalan Raya

No	Jenis Transportasi	Faktor	Referensi	Akibat	Kategori Dampak
1	Kereta	Pengereman Kereta (Sarana)	(Yin dkk, 2023)	penurunan kinerja <i>disk brake</i> kereta api	Fasilitas Sarana
2		Kecepatan Kereta (Sarana)	(Yao & Fang, 2021)	Getaran pada bangunan	Lingkungan
3		Wesel Kereta (Prasarana)	(Hu, 2022)	Kerusakan pada kepala rel kereta api	Fasilitas Prasarana
4		Interaksi antara roda dan rel kereta (Sarana & prasarana)	(Kaewunruen & Remennikov, 2016)	Degradasi pada rel kereta api dan getaran pada bangunan	Fasilitas Prasarana & Lingkungan
5		Beban Kereta (Sarana)	(Dong dkk, 2018)	Degradasi pada rel kereta api dan getaran pada lingkungan sekitar	Fasilitas Prasarana & Lingkungan
6		Suspensi Kereta (Sarana)	(Suna dkk, 2017)	Getaran pada kabin kereta api	Fasilitas sarana
7		Balas Rel (Prasarana)	(Esmacili dkk, 2014)	Mengurangi umur layan rel dan bantalan kereta api	Fasilitas Prasarana
8		Gandar Kereta (Sarana)	(Liu. J, 2017)	Kelonggaran baut pada gandar kereta	Fasilitas Sarana
9	Jalan Raya	Beban Kendaraan (Sarana)	(Jakubczyk-Galczyńska & Jankowski, 2014)	Retakan pada dinding bangunan dan gangguan pada penghuni bangunan	lingkungan
10		Kerusakan pada jalan (Prasarana)	(Camara dkk, 2017)	Getaran pada kabin kendaraan	Fasilitas Sarana
11		Mesin dan knalpot kendaraan (Sarana)	(Lakshminarayanan, 2019)	Getaran pada kabin kendaraan	Fasilitas Sarana
12		Interaksi antara ban kendaraan dengan permukaan jalan (Sarana & prasarana)	(Shirin, 2016)	Getaran pada bangunan	Lingkungan

No	Jenis Transportasi	Faktor	Referensi	Akibat	Kategori Dampak
13		Kecepatan kendaraan (Sarana)	(Autrauskas, 2020)	Getaran pada bangunan dan Getaran pada kabin kendaraan	Fasilitas sarana & Lingkungan
14		Suspensi Kendaraan (Sarana)	(Aritonang dkk, 2018)	Getaran pada kabin kendaraan dan kerusakan pada suspensi kendaraan	Fasilitas sarana
15		Transmisi Kendaraan (Sarana)	(Hua & Gandee, 2021)	Degradasi transmisi kendaraan dan kebisingan pada kabin kendaraan	Fasilitas sarana

Dari hasil pencermatan literatur yang ditinjau dari Tabel 1, getaran yang dihasilkan dari aspek sarana kereta api adalah: getaran yang dihasilkan oleh faktor pengereman kereta (Yin dkk, 2023), kecepatan kereta (Yao & Fang, 2021), Beban kereta (Dong, 2018), suspensi kereta (Suna dkk, 2017), dan gandar kereta (Liu. J, 2017). Getaran yang dihasilkan oleh kereta api tidak hanya berasal dari sarana transportasi kereta api itu sendiri namun prasarana kereta api seperti wesel kereta (Hu dkk, 2022) dan balas rel (Esmaeili dkk, 2014), juga menghasilkan getaran. Selain itu getaran juga dapat dihasilkan dengan hasil interaksi antara sarana dan prasarana transportasi seperti pada interaksi antara roda dan rel (Kaewunruen & Remennikov, 2017).

Getaran akibat kendaraan jalan raya juga berasal dari beberapa faktor yang terbagi menjadi sarana, prasarana, dan interaksi antara sarana dan prasarana dari kendaraan jalan dan jalan raya. Dilihat dari faktor sarana, getaran akibat transportasi jalan raya disebabkan oleh beban kendaraan (Jakubczyk-Galczyńska & Jankowski, 2014), mesin dan knalpot kendaraan (Lakshminarayanan dkk, 2019), kecepatan kendaraan (Autrauskas, 2020), suspensi kendaraan (Aritonang dkk, 2018) dan transmisi kendaraan (Hua & Gandee, 2021). Tidak hanya dari faktor sarana, prasarana jalan raya juga berperan menghasilkan getaran seperti adanya kerusakan pada jalan (Camara dkk, 2017) Selain itu getaran hasil dari interaksi antara sarana dan prasarana jalan raya terjadi ketika adanya interaksi antara ban kendaraan dengan permukaan jalan (Sirin, 2016).

Faktor-faktor getaran akibat transportasi kereta api dan jalan raya ini memberikan dampak negatif bagi lingkungan sekitar maupun fasilitas sarana dan prasarana transportasi itu sendiri. Pada sarana kereta api, faktor pengereman kereta mengakibatkan penurunan kinerja disk brake kereta api hal ini dapat terjadi ketika kereta melakukan pengereman, momentum yang awalnya stabil mengalami perubahan yang signifikan seiring dengan berkurangnya kecepatan kereta. Perubahan ini menyebabkan gelombang getaran merambat melalui rel dan balas, yang kemudian diteruskan ke tanah di sekitarnya. Intensitas getaran ini dapat menjadi lebih tinggi jika pengereman dilakukan secara keras dan mendadak (Yin dkk, 2023).

Selain pengereman, kecepatan kereta juga memainkan peran dalam menghasilkan getaran yang dapat mengakibatkan getaran pada lingkungan sekitar. Saat kecepatan kereta api meningkat frekuensi getaran yang dihasilkan juga meningkat, hal ini terjadi karena roda kereta berputar lebih cepat dan menciptakan frekuensi kontak yang lebih tinggi antara roda dan rel. getaran kereta api akan semakin besar ketika kecepatan kereta api semakin cepat, getaran ini dapat mengakibatkan getaran yang diakibatkan oleh peningkatan kecepatan kereta api dapat terasa pada bangunan disekitar rel kereta api (Yao & Fang, 2021).

Beban yang dibawa oleh kereta api juga dapat mempengaruhi intensitas getaran yang dapat mengakibatkan degradasi pada rel kereta api dan getaran pada lingkungan yang dekat dengan rel kereta api. Beban yang lebih berat cenderung meningkatkan gaya tekan antara roda dan rel, yang pada akhirnya meningkatkan gesekan dan potensi deformasi pada kontak tersebut. Beban yang tidak seimbang juga dapat

menyebabkan distribusi getaran yang tidak merata disepanjang rel yang dilewati oleh kereta tersebut (Dong, 2018).

Suspensi kereta api juga dapat menghasilkan getaran, terutama getaran yang dapat dirasakan pada kabin kereta api. Suspensi kereta pada awalnya dirancang untuk meredam getaran akibat kereta api (Tadepalli dkk, 2022). Namun suspensi dapat menjadi sumber getaran jika tidak berfungsi dengan baik seperti kurangnya perawatan dan pengecekan secara berkala (Suna dkk, 2017). Suspensi yang terlalu kaku tidak mampu meredam getaran secara efektif, sementara suspensi yang terlalu lunak dapat menyebabkan gerakan berayun secara berlebihan (Nielsen dkk, 2015). Interaksi dinamis antara suspensi dan bodi kereta dapat menghasilkan getaran harmonis yang membuat getaran ini dapat terasa pada kabin kereta api (Suna dkk, 2017).

Faktor lainnya yang menyebabkan getaran pada sarana kereta api adalah gandar kereta. Gandar kereta adalah komponen penting pada kereta yang berfungsi untuk menghubungkan roda-roda kereta untuk memungkinkan getaran rotasi yang halus (Beretta dkk, 2011). Getaran yang terjadi pada gandar kereta dapat menyebabkan kelonggaran baut pada gandar kereta itu sendiri (Liu dkk, 2017). Kelonggaran baut yang terjadi pada gandar kereta akibat getaran terjadi ketika ketidakseimbangan atau keausan pada gandar ketika kereta bergerak. Ketidakseimbangan ini terjadi ketika distribusi massa pada gandar yang tidak merata yang menyebabkan rotasi yang tidak stabil (Liu dkk, 2017).

Dari aspek sarana jalan kereta api, wesel kereta juga merupakan salah satu penyebab getaran. Wesel kereta api atau persimpangan rel dapat mengakibatkan kerusakan pada kepala rel kereta api. Hal ini disebabkan oleh kontak yang tidak stabil antara roda dan rel kereta api saat kereta melewati wesel yang rusak (Hu dkk, 2022). Kontak yang tidak stabil ini terjadi ketika tegangan kontak antara roda dan rel melebihi kekuatan luluh dari rel wesel, yang pada akhirnya menyebabkan retakan atau kerusakan pada kepala rel kontak yang tidak stabil ini menghasilkan getaran yang lebih kuat daripada gesekan biasa (Hu dkk, 2022).

Balas rel juga berkontribusi terhadap getaran yang dirasakan. Balas rel yang tercemar oleh pasir meningkatkan kekakuan lapisan balas dan modulus dukungan rel, yang berarti bahwa lapisan balas menjadi lebih padat dan kurang mampu menyerap energi getaran yang dihasilkan kereta api yang melintas. Ketika kekakuan ini meningkat, getaran yang ditransmisikan ke komponen infrastruktur rel seperti bantalan, bantalan rel, dan rel itu sendiri juga meningkat. Getaran yang lebih kuat ini menyebabkan keausan dan kerusakan yang lebih cepat pada komponen-komponen tersebut, yang pada akhirnya mengurangi umur layan rel dan bantalan (Esmaeli dkk, 2014).

Interaksi antara sarana dan prasarana, seperti interaksi antara roda kereta api dan rel kereta api dapat mengakibatkan degradasi pada rel dan getaran pada bangunan di lingkungan sekitar rel kereta api [28]. Ketidaksempurnaan pada permukaan roda atau rel, seperti keausan atau kerusakan, dapat menyebabkan getaran saat kedua komponen ini bersentuhan. Selain itu perbedaan kecepatan antara roda yang berbeda dapat menghasilkan (Kaewunruen & Remennikov, 2017).

Getaran yang dihasilkan oleh sarana dan prasarana transportasi tidak hanya dihasilkan oleh kereta api, sarana dan prasarana pada jalan raya juga menghasilkan getaran yang memiliki dampak negatif bagi pengguna jalan raya maupun penghuni yang ada disekitar jalan raya. Pada sarana transportasi jalan raya, getaran akibat beban kendaraan yang berat dapat mengakibatkan retakan pada dinding bangunan dan gangguan pada penghuni bangunan.

Getaran yang disebabkan oleh kendaraan berat seperti truk atau bus bergerak di atas permukaan jalan yang terhubung langsung dengan tanah. Ketika kendaraan ini bergerak, kendaraan ini menghasilkan gaya dinamis yang ditransmisikan melalui tanah sebagai gelombang getaran. Gelombang ini kemudian mencapai pondasi bangunan yang akhirnya dapat membuat keretakan pada dinding bangunan serta gangguan pada penghuni bangunan (Jakubczyk-Galczyńska & Jankowski, 2014).

Mesin kendaraan juga merupakan sumber utama getaran pada sarana transportasi jalan raya terutama kendaraan bermesin diesel (Lakshminarayanan dkk, 2019). Getaran pada mesin ini dapat mengakibatkan getaran pada kabin kendaraan (Lakshminarayanan dkk, 2019). Getaran ini dapat terjadi ketika proses pembakaran dalam mesin, dimana tekanan kuat dari campuran bahan bakar dan udara menghasilkan dorongan yang mengakibatkan getaran. Selain itu, sistem pembuangan pembakaran atau knalpot yang tidak terpasang dengan baik atau mengalami kebocoran dapat menyebabkan getaran berlebih yang merambat ke seluruh bodi kendaraan (Lakshminarayanan dkk, 2019).

Faktor lain penyebab getaran pada sarana jalan raya yaitu kecepatan kendaraan dan transmisi kendaraan (Astrauskas, 2020 ; Hua & Gandee, 2021). Kecepatan pada kendaraan dapat mengakibatkan getaran pada lingkungan jalan raya dan getaran pada kabin kendaraan. Hal ini terjadi karena kecepatan kendaraan meningkatkan gaya dinamis yang disalurkan ke jalan salan melintasi hambatan seperti *speed bump*, menyebabkan getaran yang lebih besar. Semakin tinggi kecepatan kendaraan maka semakin besar juga getaran yang dihasilkan (Astrauskas, 2020).

Getaran akibat transmisi kendaraan juga dapat mempengaruhi kinerja transmisi dan menimbulkan getaran yang terasa di kabin kendaraan. Hal ini terjadi karena interaksi dinamis antara roda dan permukaan jalan yang tidak rata, disalurkan pada komponen transmisi seperti bantalan dan gigi yang akhirnya menimbulkan (Hua & Gandee, 2021). Terakhir pada faktor sarana transportasi jalan raya, getaran pada suspensi kendaraan dapat membuat kerusakan pada sistem suspensi itu sendiri (Aritonang dkk, 2018). Hal ini terjadi karena tidak seimbang roda kendaraan, ketidaksejajaran suspensi atau keausan komponen menyebabkan getaran yang merambat ke seluruh kendaraan (Aritonang dkk, 2018).

Prasarana jalan raya, seperti kondisi jalan yang buruk, adanya lubang, keretakan pada jalan adalah penyebab utama getaran pada kabin kendaraan (Camara dkk, 2017). Saat kendaraan melintasi jalan yang rusak, ban mengalami perubahan permukaan secara tiba-tiba yang menyebabkan suspensi dan rangka kendaraan bergetar. Semakin parah kerusakan pada jalan maka semakin kuat getaran yang dapat dirasakan pada kabin kendaraan (Camara dkk, 2017). Terakhir adalah getaran yang terjadi akibat interaksi antara sarana dan prasarana transportasi jalan raya seperti interaksi antara ban kendaraan dan permukaan jalan. Faktor ini dapat menghasilkan getaran, yang kemudian mempengaruhi lingkungan di sekitarnya. Getaran ini terjadi ketika ban mengenai permukaan jalan, memicu getaran pada kerangka ban yang kemudian merambat melalui tanah sehingga getaran yang dapat dirasakan pada penghuni yang tinggal di dekat jalan raya (Camara dkk, 2017).

Dari tinjauan literatur sistematis yang telah disampaikan, memperlihatkan faktor-faktor penyebab getaran terjadi karena operasional sarana, kondisi prasarana, serta interaksi antara sarana dan prasarana. Hal tersebut terjadi di transportasi kereta api maupun jalan raya. Getaran yang diakibatkan oleh aktivitas sarana kereta api dapat berakibat pada lingkungan dan fasilitas prasarana, tetapi lebih banyak ditemukan pada fasilitas prasarana seperti degradasi rel kereta api, getaran pada kabin, dan kelonggaran baut pada gandar kereta api.

Getaran transportasi kendaraan jalan raya, dampak yang terjadi akibat sarana dan prasarana transportasi jalan raya lebih sering berdampak pada fasilitas prasarana transportasi jalan raya itu sendiri seperti getaran pada kabin, degradasi transmisi kendaraan, dan kerusakan pada suspensi kendaraan. Pada dampak terhadap lingkungan yang diakibatkan oleh getaran akibat transportasi kereta api maupun jalan raya juga terjadi seperti getaran pada bangunan, dan gangguan pada penghuni bangunan. Dampak ini disebabkan oleh interaksi antara roda dan rel kereta dan beban kereta dan kendaraan. Pemahaman tentang faktor-faktor ini sangat penting untuk mengembangkan strategi mitigasi dan rekomendasi yang efektif, sehingga dapat mengurangi dampak negatif getaran terhadap infrastruktur dan lingkungan sekitar akibat getaran transportasi.

SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan tinjauan literatur sistematis ini dapat disimpulkan faktor-faktor penyebab getaran di operasional jalan kereta api dan jalan raya adalah bersumber dari operasional sarana, kondisi prasarana, serta interaksi antara sarana dan prasarana. Getaran yang disebabkan operasional jalan raya berupa kecepatan kendaraan dan transmisi kendaraan. Sedangkan pada operasional jalan kereta api disebabkan oleh degradasi rel kereta api, getaran pada kabin, dan kelonggaran baut pada gandar kereta api. Dampak lanjutan dari interaksi antara sarana dan prasarana transportasi adalah lingkungan, yaitu kenyamanan dan kesehatan manusia, serta kerusakan bangunan dan fasilitas sarana dan prasarana transportasi kereta api maupun jalan raya. Penelitian ini memungkinkan memberikan rekomendasi awal atau mendorong penelitian yang lebih lanjut mengenai getaran akibat transportasi kereta api dan jalan raya. Oleh sebab itu, perlu dilakukan observasi dan penggalian detail di lapangan. Diharapkan penelitian selanjutnya dapat memberi solusi yang lebih relevan dan dapat diaplikasikan untuk mengurangi dampak dari getaran transportasi kereta api dan jalan raya.

DAFTAR PUSTAKA

- Afrihansyah, M. (2020). Analisis Getaran Akibat Beban Kereta Api Terhadap Struktur Rel di Atas Lapisan Ballast Menggunakan Alat Sensor Accelerometer dan Seismic Monitoring. *Skripsi, Universitas Negeri Semarang*.
- Agustina, D., Sopang, A. S., Deviyanti, D., & Simanullang, S. M. (2023). Analisis Faktor yang Mempengaruhi Efektivitas Pelayanan Kesehatan di Puskesmas. *ARRAZI: Scientific Journal of Health, 1* (1), 18-26.
- Alfira, F. A., Khambali, K., Suprijandani, S., & Sari, E. (2023). Analysis of train vibration and noise on population subjective complaints. *Jurnal Kesehatan Masyarakat, 11* (1), 96-101.
- Aritonang, S., Imastuti, I., & Wulanuari, P. H. (2018). Analisis Kerusakan Yang Disebabkan Oleh Vibrasi Pada Sistem Suspensi Kendaraan Roda Empat. *Jurnal Teknologi Daya Gerak, 1*(1).
- Arnberg, P. W., Bennerhult, O., & Eberhardt, J. L. (1990). Sleep disturbances caused by vibrations from heavy road traffic. *The Journal of the Acoustical Society of America, 88*(3), 1486-1493.
- Astrauskas, T., Januševičius, T., & Grubliauskas, R. (2020). Vehicle speed influence on ground-borne vibrations caused by road transport when passing vertical traffic calming measures. *Promet-Traffic&Transportation, 32* (2), 247-253.
- Beretta, S., Carboni, M., & Cervello, S. (2011). Design review of a freight railway axle: fatigue damage versus damage tolerance. *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik, 42* (12), 1099-1104.
- Camara, A., Vázquez, V. F., Ruiz-Teran, A. M., & Paje, S. E. (2017). Influence of the pavement surface on the vibrations induced by heavy traffic in road bridges. *Canadian Journal of Civil Engineering, 44* (12), 1099-1111.
- Dong, J., Yang, Y., & Wu, Z. H. (2019). Propagation characteristics of vibrations induced by heavy-haul trains in a loess area of the North China Plains. *Journal of Vibration and Control, 25* (4), 882-894.
- Erkal, A. (2019). Impact of traffic-induced vibrations on residential buildings and their occupants in metropolitan cities. *Promet-Traffic&Transportation, 31* (3), 271-285.
- Esmaili, M., Zakeri, J. A., & Mosayebi, S. A. (2014). Effect of sand-fouled ballast on train-induced vibration. *International Journal of Pavement Engineering, 15*(7), 635-644.

- Handayani, D., Purnawan, C., Nugraha, S., Chrismaningwang, G., & Ubaidillah, U. (2024). IMPACT OF GREEN CAMPUS TRANSPORTATION PROGRAMS ON EMISSION REDUCTION TARGET 2030. *ASEAN Engineering Journal*, 14 (1), 213-221.
- Hegde, A., & Venkateswarlu, H. (2019). Mitigation of traffic induced vibration using geocell inclusions. *Frontiers in Built Environment*, 5, 136.
- Hong, L., Li, Y., Xu, Z., Jiang, Y., Li, F., Lin, L., ... & Chen, X. (2015, June). A service benefit analysis of the urban rail transit. In *2015 12th International Conference on Service Systems and Service Management (ICSSSM)* (pp. 1-3). IEEE.
- Hua, X., & Gandee, E. (2021). Vibration and dynamics analysis of electric vehicle drivetrains. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 40(3), 1241-1251.
- Hu, P., Wang, H., Zhang, C., Hua, L., & Tian, G. (2022). Wheel-rail contact-induced impact vibration analysis for switch rails based on the VMD-SS method. *Sensors*, 22(18), 6872.
- Jakubczyk-Galczyńska, A., & Jankowski, R. (2014). Traffic-induced vibrations. The impact on buildings and people. In *Environmental Engineering. Proceedings of the International Conference on Environmental Engineering. ICEE* (Vol. 9, p. 1). Vilnius Gediminas Technical University, Department of Construction Economics & Property.
- Kaewunruen, S., & Remennikov, A. M. (2016). Current state of practice in railway track vibration isolation: An Australian overview. *Australian Journal of Civil Engineering*, 14(1), 63-71.
- Karim, H. A., Lis Lesmini, S. H., Sunarta, D. A., Sh, M. E., Suparman, A., Si, S., ... & Bus, M. (2023). *Manajemen transportasi*. Cendikia Mulia Mandiri.
- Lakshminarayanan, P. A., & Agarwal, A. K. (Eds.). (2019). *Design and development of heavy-duty diesel engines: a handbook*. Springer Nature.
- Liu, J. (2017). Influence of Wheel Non-circular Wear on Axle Box Cover Abnormal Vibration in High-speed Train. *Journal of Mechanical Engineering*, 53, 98.
- Magnuson, A. R. (2011). *Mitigation of traffic-induced bridge vibrations through passive and semi-active control devices* (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology).
- Makovi, D. (2005). Response Analysis of A Building Loaded By Technical Seismicity Propagating from A Tube Railway Structure. *WIT Transactions on The Built Environment*, 81.
- Mangharam, R., Reyerson, M., Viscelli, S., Balakrishanan, H., Bayen, A., Amin, S., ... & Pappas, G. (2017). MOBILITY21: Strategic investments for transportation infrastructure & technology. *arXiv preprint arXiv:1705.01923*.
- Maulida, A., Rahmatulloh, A., Ahussalim, I., Mulia, R. A. J., & Rosyani, P. (2023). Analisis Metode Forward Chaining pada Sistem Pakar: Systematic Literature Review. *Jurnal Manajemen, Ekonomi, Hukum, Kewirausahaan, kesehatan, Pendidikan dan Informatika (MANEKIN)*, 1 (04), 144-151.
- Mhanna, M., Sadek, M., & Shahrour, I. (2012). Numerical modeling of traffic-induced ground vibration. *Computers and Geotechnics*, 39, 116-123.
- Moher, D., Shamseer, L., Clarke, M., Ghersi, D., Liberati, A., Petticrew, M., ... & Prisma-P Group. (2015). Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. *Systematic reviews*, 4, 1-9.
- Nielsen, J. C. O., Mirza, A., Cervello, S., Huber, P., Müller, R., Nelain, B., & Ruest, P. (2015). Reducing train-induced ground-borne vibration by vehicle design and maintenance. *International Journal of Rail Transportation*, 3 (1), 17-39.

- Nur, N. K., Rangan, P. R., Mahyuddin, M., Halim, H., Tumpu, M., Sugiyanto, G., ... & Rosyida, E. E. (2021). Sistem transportasi.
- Purwanto, B., Zulfachmi, Z., & Purwaka, P. B. (2022). Pengukuran Getaran Mekanik Berdasarkan Jenis Bangunan. *Jurnal Penelitian Sosial dan Ekonomi Kehutanan*, 16 (1), 31-38.
- Rukmana, D. (2018, March). Rapid urbanization and the need for sustainable transportation policies in Jakarta. In *IOP conference series: earth and environmental science* (Vol. 124, No. 1, p. 012017). IOP Publishing.
- Shalva Uriadmkopeli, S. U. (2024). Advantages and Modern Challenges of Road Transport. *Economics*, 105 (11–12), 93–102. <https://doi.org/10.36962/ecs105/11-12/2023-93>
- Sun, S., Deng, H., & Li, W. (2014, March). Variable stiffness and damping suspension system for train. In *Active and passive Smart structures and integrated systems 2014* (Vol. 9057, pp. 234-242). SPIE.
- Sirin, O. (2016). State-of-the-art review on sustainable design and construction of quieter pavements—part 2: factors affecting tire-pavement noise and prediction models. *Sustainability*, 8 (7), 692.
- Snæbjörnsson, J. T., Fadnes, T. O. M., Jakobsen, J. B., & Gudmestad, O. T. (2020). A study of suspension bridge vibrations induced by heavy vehicles. In *Dynamics of Civil Structures, Volume 2: Proceedings of the 37th IMAC, A Conference and Exposition on Structural Dynamics 2019* (pp. 115-123). Springer International Publishing.
- Sontakke, K.S. (2020). Analysis of Road Transport in India.
- Tadepalli, R. K., Rao, C. S. P., Rao, K. N., & Sastry, D. R. (2022). Semi active vibration control device for secondary suspension of a railway wagon to improve ride comfort. *Advances in Science and Technology*, 120, 127-138.
- Triandini, E., Jayanatha, S., Indrawan, A., Putra, G. W., & Iswara, B. (2019). Metode systematic literature review untuk identifikasi platform dan metode pengembangan sistem informasi di Indonesia. *Indonesian Journal of Information Systems*, 1 (2), 63-77.
- Xia, H., Zhang, N., & Cao, Y. M. (2005). Experimental study of train-induced vibrations of environments and buildings. *Journal of sound and vibration*, 280 (3-5), 1017-1029.
- Yao, J., & Fang, L. (2021). Building vibration prediction induced by moving train with random forest. *Journal of Advanced Transportation*, 2021 (1), 6642071.
- Yin, J., Zhou, Q., Fang, X., Liu, Z., Liu, Y., Zhang, S., & Sha, Z. (2023). Study on service vibration characteristics of high-speed train disc brake under thermo-solid coupling. *Applied Sciences*, 13 (22), 12361.