

JURNAL KONSTRUKSI DAN INFRASTRUKTUR

Teknik Sipil dan Perencanaan

EVALUASI GETARAN LANTAI BANGUNAN MENGGUNAKAN *SMARTPHONE* SEBAGAI METODE *SCREENING* CEPAT

Heri Khoeri^{1*}, Muhammad Aziz Komarudin²

^{1*)} Universitas Tama Jagakarsa

Email Penulis Korespondensi : [hkhoei@gmail.com](mailto:hkhoeri@gmail.com)

Nomor HP Penulis Korespondensi : 08158255374

²⁾ PT.Hesa Laras Cemerlang. <https://hesa.co.id>

Email: kontak@hesa.co.id

ABSTRAK

Floor vibrations can affect user comfort even though they do not always indicate structural capacity impairment. This study evaluated vibrations on the third floor of a four-story shophouse and assessed the use of smartphones as an initial screening method. Measurements were conducted at three locations using an iPhone 11 and the G-Force Meter application with a sampling frequency of 100 Hz. The recording duration of 40–60 seconds was standardized to 30 seconds for analysis. Vibrations were recorded during normal activities, particularly when users were walking in corridors or outdoor stairs. Acceleration data were processed through gravity removal, detrending, FIR band-pass filtering, Fast Fourier Transform, and numerical integration. The analysis results showed a dominant frequency of 14.42–18.64 Hz, RMS acceleration of 0.048–0.094 m/s², estimated peak velocity of 2.992–4.832 mm/s, and estimated peak drift of 0.010–0.025 mm. Based on ISO 10137, all points are above the comfort limits for office buildings, while comparison with Minister of Environment Decree No. 49 of 1996 shows vibration levels within the permissible to uncomfortable range. These results indicate comfort issues but do not guarantee structural safety. Smartphones have the potential to be used as an initial screening tool, while technical decisions require calibrated measurements and further evaluation.

Keyword: *acceleration, frequency, serviceability, vibration.*

1. PENDAHULUAN

Getaran pada bangunan merupakan salah satu aspek yang perlu diperhatikan dalam evaluasi kinerja layan (*serviceability*) struktur. Meskipun suatu bangunan memenuhi persyaratan kekuatan dan stabilitas, respons dinamis yang berlebihan dapat menimbulkan ketidaknyamanan bagi pengguna. Pada beberapa kasus, keluhan terhadap getaran muncul tanpa adanya indikasi kerusakan struktural yang signifikan, sehingga diperlukan evaluasi lebih lanjut untuk mengetahui tingkat getaran yang sebenarnya terjadi. Berbeda dengan kondisi batas ultimit yang berkaitan dengan keamanan struktur, permasalahan getaran umumnya berkaitan dengan kenyamanan pengguna dan persepsi terhadap kualitas bangunan [1].

Persepsi manusia terhadap getaran dipengaruhi oleh frekuensi, amplitudo, arah, dan durasi getaran. Getaran dengan amplitudo relatif kecil sekalipun dapat dirasakan oleh penghuni dan menimbulkan gangguan terhadap aktivitas sehari-hari, terutama pada bangunan yang digunakan sebagai ruang kerja atau area komersial [2], [3]. Oleh karena itu, evaluasi getaran bangunan tidak hanya mempertimbangkan aspek keselamatan struktur, tetapi juga aspek kenyamanan pengguna.

Untuk menilai tingkat kenyamanan terhadap getaran, salah satu acuan yang banyak digunakan adalah ISO 10137:2007-*Bases for Design of Structures-Serviceability of Buildings and Walkways Against*

Vibration. Standar ini memberikan batas percepatan getaran yang direkomendasikan berdasarkan fungsi bangunan dan frekuensi getaran yang terjadi. ISO 10137 dikembangkan berdasarkan kajian mengenai respons manusia terhadap getaran dan banyak digunakan sebagai acuan dalam evaluasi kinerja layan bangunan [4]. Kajian yang lebih mutakhir menunjukkan bahwa ambang persepsi getaran tidak selalu sama dengan ambang penerimaan (*acceptability threshold*), sehingga evaluasi kenyamanan perlu mempertimbangkan konteks penggunaan bangunan dan persepsi pengguna terhadap getaran yang terjadi [5]. Selain itu, di Indonesia terdapat Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 49 Tahun 1996 tentang Baku Tingkat Getaran yang mengatur batas tingkat getaran untuk berbagai jenis bangunan dan lingkungan [6].

Seiring perkembangan teknologi, perangkat telepon pintar (*smartphone*) telah dilengkapi dengan sensor akselerometer berbasis *Micro-Electro-Mechanical Systems (MEMS)* yang mampu merekam respons percepatan akibat getaran. Penggunaan *smartphone* sebagai alat ukur menawarkan kemudahan pelaksanaan dan biaya yang relatif rendah dibandingkan penggunaan *accelerometer* profesional [7]. [8]. Meskipun akurasinya lebih terbatas, *smartphone* dapat dimanfaatkan sebagai sarana investigasi awal untuk mengidentifikasi adanya indikasi permasalahan getaran pada bangunan [9], [10], [11].

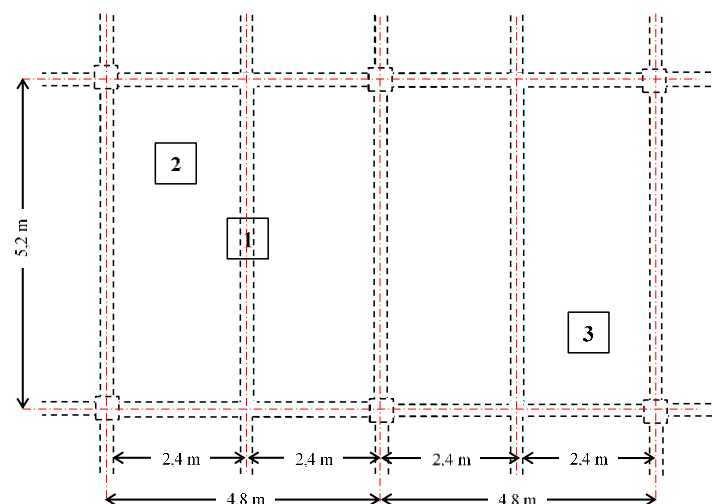
Pada penelitian ini dilakukan pengukuran getaran pada sebuah bangunan ruko empat lantai yang digunakan untuk kegiatan komersial. Pengguna bangunan pada lantai tiga melaporkan adanya getaran yang dirasakan mengganggu selama aktivitas operasional. Untuk mengidentifikasi tingkat getaran dilakukan pengukuran menggunakan *smartphone* iPhone 11 yang dilengkapi aplikasi G-Force Meter. Hasil pengukuran kemudian dianalisis dan dibandingkan dengan kriteria yang ditetapkan dalam ISO 10137:2007 serta Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 49 Tahun 1996.

Penelitian ini bertujuan: (1) Mengidentifikasi karakteristik getaran yang terjadi pada lantai bangunan berdasarkan hasil pengukuran lapangan. (2) Mengevaluasi tingkat getaran terhadap kriteria kenyamanan berdasarkan ISO 10137:2007. (3) Membandingkan hasil pengukuran dengan baku tingkat getaran yang diatur dalam Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 49 Tahun 1996. (4) Menilai potensi pemanfaatan *smartphone* sebagai alat investigasi awal dalam evaluasi getaran bangunan eksisting.

2. METODE

2.1. Objek Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada sebuah bangunan ruko empat lantai yang digunakan untuk aktivitas komersial. Berdasarkan informasi dari pengguna, getaran dirasakan pada lantai tiga selama aktivitas operasional normal dan dianggap mengganggu kenyamanan dalam beraktivitas. Oleh karena itu, lantai tiga dipilih sebagai lokasi utama pengukuran untuk mengidentifikasi karakteristik getaran yang terjadi.



Gambar 1. Penomoran lokasi penempatan sensor

Pengukuran dilakukan pada area yang mewakili lokasi keluhan pengguna sehingga respons yang diperoleh dapat menggambarkan kondisi aktual yang dirasakan penghuni bangunan (**Gambar 1**). Data hasil pengukuran selanjutnya digunakan untuk mengevaluasi tingkat getaran berdasarkan kriteria kenyamanan yang berlaku.

2.2. Peralatan Pengukuran

Pengukuran getaran dilakukan menggunakan telepon pintar iPhone 11 yang dilengkapi aplikasi G-Force Meter. Perangkat tersebut memanfaatkan sensor akselerometer berbasis *Micro-Electro-Mechanical Systems (MEMS)* yang terintegrasi pada smartphone untuk merekam percepatan getaran dalam tiga arah ortogonal, yaitu sumbu X, Y, dan Z.

Pemanfaatan smartphone sebagai alat ukur getaran telah banyak diteliti dalam beberapa tahun terakhir dan menunjukkan potensi yang baik untuk investigasi awal karakteristik dinamis struktur, terutama untuk identifikasi frekuensi alami dan tingkat getaran pada bangunan maupun jembatan [10], [11].

2.3. Prosedur Pengukuran

Pengukuran dilakukan menggunakan satu unit iPhone 11 dengan aplikasi G-Force Meter pada frekuensi sampling sebesar 100 Hz. Smartphone diletakkan mendatar di atas permukaan lantai dengan sumbu Z tegak lurus terhadap bidang lantai dan dipertahankan agar tidak bergeser selama perekaman. Setiap rekaman memiliki durasi 30-60 detik. Pengukuran dilakukan pada kondisi aktivitas normal, tanpa eksitasi buatan, namun data mulai direkam saat ada pengguna yang berjalan di koridor atau tangga di sebelah ruangan. Selanjutnya untuk keseragaman durasi data yang dianalisis hanya 30 detik dengan data awal dimulai sesaat sebelum percepatan puncak terekam.

2.4. Pengolahan Data

Data percepatan hasil pengukuran diekspor dari aplikasi *G-Force Meter*. Sebelum dilakukan analisis, data percepatan yang semula dinyatakan dalam satuan g dikonversi ke satuan SI (m/s^2) menggunakan faktor konversi $1 g = 9,80665 m/s^2$.

2.4.1. Analisis Frekuensi Menggunakan Fast Fourier Transform (FFT)

Karakteristik getaran struktur tidak hanya ditentukan oleh amplitudo percepatan, tetapi juga oleh kandungan frekuensinya. Oleh karena itu, data percepatan hasil pengukuran dianalisis dalam domain frekuensi menggunakan metode *Fast Fourier Transform (FFT)*. *FFT* merupakan algoritma numerik yang digunakan untuk mentransformasikan sinyal dari domain waktu menjadi domain frekuensi sehingga frekuensi dominan dan karakteristik spektral getaran dapat diidentifikasi. Dalam bidang *Structural Health Monitoring (SHM)*, *FFT* merupakan salah satu metode yang paling banyak digunakan untuk identifikasi karakteristik dinamis struktur berdasarkan data percepatan hasil pengukuran lapangan (Sarmadi et al., 2023; Zhang et al., 2026). Transformasi Fourier dinyatakan sebagai:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-i2\pi ft} dt \quad (1)$$

dengan:

$X(f)$ = spektrum frekuensi

$x(t)$ = sinyal pada domain waktu

f = frekuensi (Hz)

Frekuensi dominan ditentukan berdasarkan puncak amplitudo terbesar pada spektrum frekuensi hasil transformasi *FFT*. Frekuensi tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar evaluasi tingkat kenyamanan getaran berdasarkan ISO 10137:2007.

2.4.2. Penyaringan Sinyal Menggunakan Filter *FIR*

Data percepatan yang diperoleh dari sensor akselerometer berbasis MEMS pada smartphone umumnya mengandung komponen *noise*, *offset*, serta gangguan frekuensi yang tidak berkaitan dengan respons struktur. Untuk meningkatkan kualitas sinyal, dilakukan proses penyaringan (*signal filtering*)

menggunakan *Finite Impulse Response (FIR) filter* [12], [13]. *FIR filter* merupakan filter digital yang menghasilkan sinyal keluaran berdasarkan kombinasi linier sejumlah data masukan sebelumnya dan dapat dinyatakan sebagai:

$$y[n] = \sum_0^M b_k x[n - k] \quad (2)$$

dengan:

$y[n]$ = sinyal keluaran

$x[n]$ = sinyal masukan

b_k = koefisien filter ke- k

M = orde filter

n = indeks sampel

k = indeks koefisien filter

Data percepatan terlebih dahulu dikurangi terhadap nilai rata-ratanya untuk menghilangkan komponen gravitasi dan *offset*, kemudian dilakukan detrending linear. Selanjutnya, sinyal disaring menggunakan *FIR band-pass filter* pada rentang frekuensi 0,5–25 Hz dengan orde 100 (101 koefisien filter). Analisis spektrum dilakukan pada data dengan frekuensi sampling 100 Hz menggunakan *window Hann* dan metode *Welch*. Resolusi frekuensi ditentukan berdasarkan panjang segmen analisis, $\Delta f = f_s / N_{\text{segmen}}$. Kecepatan dan perpindahan diestimasi melalui integrasi numerik menggunakan metode trapesium kumulatif. Untuk mengendalikan akumulasi drift, dilakukan baseline correction dan detrending linear setelah setiap tahap integrasi.

Penyaringan sinyal merupakan tahapan penting dalam pengolahan data getaran karena dapat meningkatkan kualitas identifikasi parameter dinamis struktur dan mengurangi kesalahan interpretasi akibat gangguan pengukuran [11], [14]. Selain itu, *FIR filter* memiliki karakteristik fase linier sehingga tidak menimbulkan distorsi fase yang dapat mempengaruhi hasil analisis frekuensi.

2.4.3. Perhitungan Kecepatan dan Lendutan Melalui Integrasi Ganda

Selain percepatan, parameter getaran yang umum digunakan dalam evaluasi respons struktur adalah kecepatan dan lendutan. Kecepatan diperoleh melalui integrasi pertama terhadap data percepatan, sedangkan lendutan diperoleh melalui integrasi kedua terhadap data percepatan atau integrasi pertama terhadap data kecepatan. Hubungan matematis tersebut dinyatakan sebagai:

$$v(t) = \int a(t) dt \quad (3)$$

$$d(t) = \int v(t) dt = \int \int a(t) dt \quad (4)$$

dengan:

$a(t)$ = percepatan getaran (m/s^2)

$v(t)$ = kecepatan getaran (m/s)

$d(t)$ = lendutan atau perpindahan getaran (m)

Dalam praktiknya, proses integrasi sangat sensitif terhadap keberadaan komponen *DC*, *offset*, dan gangguan frekuensi rendah pada sinyal percepatan. Kesalahan yang relatif kecil pada data percepatan dapat terakumulasi selama proses integrasi sehingga menghasilkan *drift* yang signifikan pada hasil kecepatan maupun lendutan. Oleh karena itu, sebelum integrasi dilakukan, data percepatan terlebih dahulu dikoreksi melalui proses *baseline correction* dan filtering untuk meminimalkan kesalahan tersebut. Pendekatan ini telah menjadi prosedur umum dalam pengolahan data getaran berbasis sensor *MEMS* dan aplikasi *SHM* modern [11], [15]. Pada penelitian ini, integrasi dilakukan secara numerik terhadap data percepatan yang telah melalui proses penyaringan sehingga diperoleh estimasi kecepatan dan lendutan dinamis lantai sebagai parameter tambahan dalam interpretasi respons getaran bangunan.

2.5. Kriteria Evaluasi

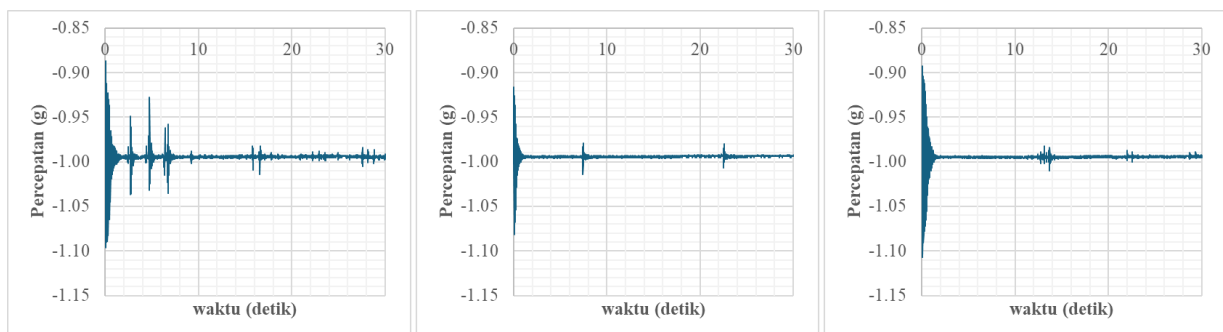
Evaluasi tingkat getaran dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran terhadap dua acuan, yaitu ISO 10137:2007 dan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 49 Tahun 1996. ISO 10137:2007 digunakan untuk mengevaluasi tingkat kenyamanan pengguna bangunan berdasarkan hubungan antara frekuensi getaran dan percepatan yang terjadi. Nilai percepatan hasil pengukuran diplot pada kurva batas kenyamanan sesuai fungsi bangunan untuk menentukan tingkat keberterimaan getaran yang dirasakan pengguna [4]. Sebagai pembanding, hasil pengukuran juga dievaluasi terhadap Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 49 Tahun 1996 tentang Baku Tingkat Getaran. Perbandingan ini dilakukan untuk mengetahui apakah tingkat getaran yang terjadi masih berada dalam batas yang diperbolehkan menurut regulasi yang berlaku di Indonesia. Kecepatan getaran untuk pembandingan terhadap dampak pada bangunan, sementara simpangan dan frekuensi untuk pembandingan terhadap tingkat gangguan manusia. [6].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

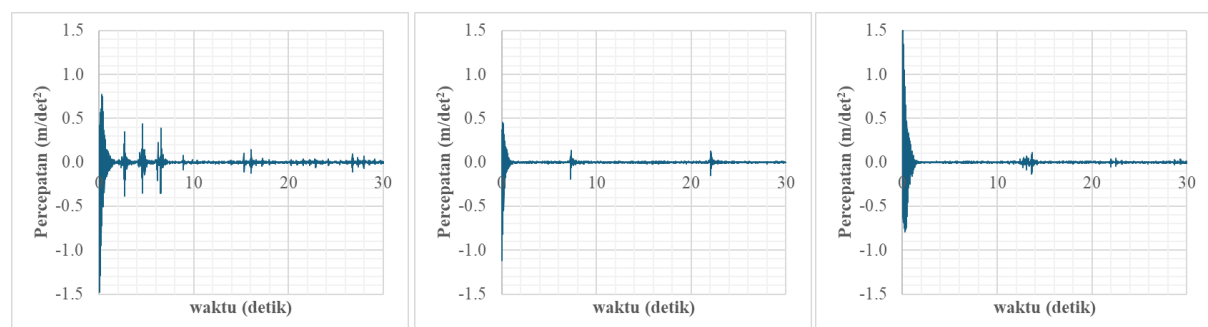
3.1. Hasil Pengukuran Getaran

Pengukuran getaran dilakukan pada tiga lokasi berbeda pada lantai tiga bangunan ruko. Titik pengukuran dipilih untuk merepresentasikan distribusi respons getaran pada pelat lantai, yaitu pada posisi tengah bentang (Lokasi 1), sekitar seperempat bentang (Lokasi 2), dan sekitar tiga perempat bentang (Lokasi 3). Selama pengukuran dilakukan aktivitas berjalan dan melompat yang bertujuan menghasilkan eksitasi dinamis pada lantai.

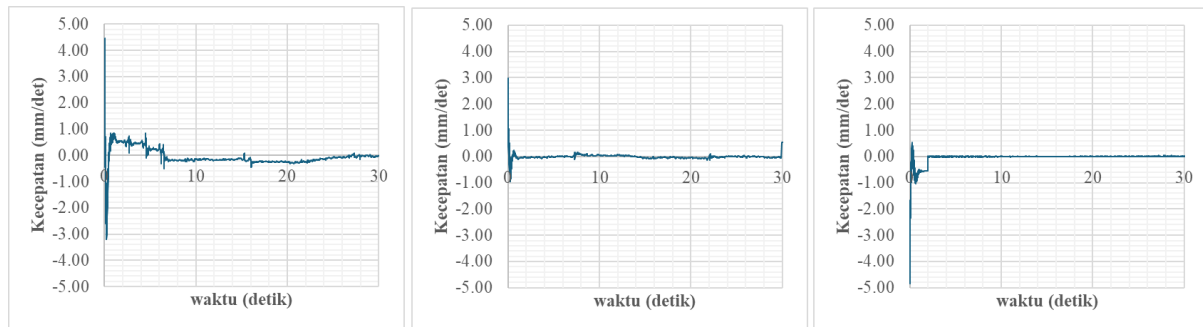
Data percepatan direkam menggunakan smartphone iPhone 11 yang dilengkapi aplikasi G-Force Meter. Sinyal percepatan yang diperoleh terlebih dahulu dikoreksi dengan menghilangkan komponen gravitasi (*DC removal*) dan selanjutnya dilakukan penyaringan menggunakan *FIR band-pass filter* untuk mengurangi pengaruh *noise* dan komponen frekuensi yang tidak relevan.



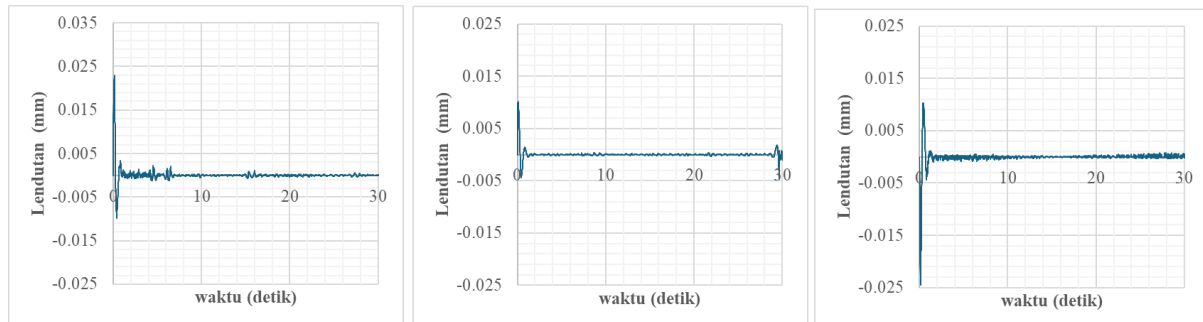
Gambar 2. Raw data percepatan dari smartphone



Gambar 3. Data percepatan yang sudah didetrending dan difilter *FIR*



Gambar 4. Kecepatan hasil integrasi numerik data percepatan

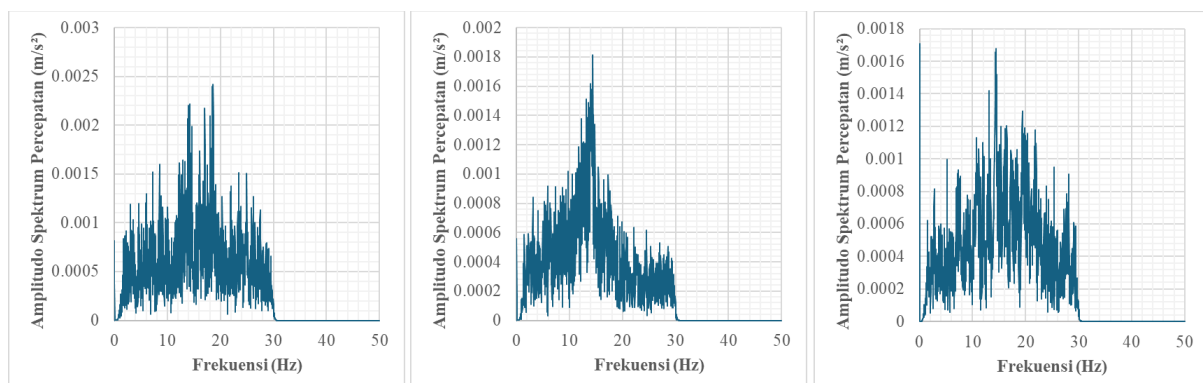


Gambar 5. Lendutan hasil integrasi numerik ganda data percepatan

Secara visual terlihat bahwa respons getaran yang terjadi bersifat transien dan dipengaruhi oleh aktivitas manusia selama pengujian. Puncak percepatan muncul pada saat terjadi aktivitas melompat, sedangkan amplitudo yang lebih kecil berkaitan dengan aktivitas berjalan.

3.2. Analisis Frekuensi Getaran

Hasil FFT menunjukkan frekuensi dominan berkisar antara 14,42 Hz hingga 18,64 Hz. Lokasi 2 dan Lokasi 3 menunjukkan frekuensi dominan yang sama yaitu 14,42 Hz, sedangkan Lokasi 1 menunjukkan frekuensi dominan yang lebih tinggi yaitu 18,64 Hz. Kemiripan frekuensi dominan pada 2 (dua) titik pengukuran menunjukkan bahwa kedua lokasi merespons sistem struktur yang sama dan dipengaruhi oleh mekanisme getaran global yang serupa. **Gambar 6** memperlihatkan spektrum frekuensi hasil FFT pada ketiga lokasi pengukuran.



Gambar 6. Spektrum amplitudo FFT hasil pengukuran

Keberadaan frekuensi dominan yang konsisten pada seluruh titik mengindikasikan bahwa respons getaran yang direkam bukan semata-mata fenomena lokal pada satu area pelat, melainkan berkaitan dengan karakteristik dinamis lantai secara keseluruhan.

Namun demikian, karena pengujian dilakukan menggunakan eksitasi aktivitas manusia dan bukan melalui pengujian modal terkontrol, frekuensi dominan yang diperoleh dalam penelitian ini lebih tepat disebut sebagai frekuensi dominan respons getaran daripada frekuensi alami struktur.

3.3. Karakteristik Percepatan Getaran

Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa nilai percepatan maksimum dan percepatan *RMS* berbeda pada setiap lokasi pengukuran. Ringkasan hasil analisis disajikan pada **Tabel 1**. Kecepatan dan simpangan yang disajikan merupakan estimasi hasil integrasi numerik data percepatan, bukan hasil pengukuran langsung. Nilai tersebut sensitif terhadap bias sensor, parameter filter, dan residual drift, sehingga digunakan sebagai parameter pendukung dalam screening dan tidak ditafsirkan sebagai nilai perpindahan absolut.

Tabel 1. Ringkasan Parameter Getaran Hasil Pengukuran

Parameter	Lokasi 1	Lokasi 2	Lokasi 3
Estimasi percepatan puncak (m/s^2)	1,472	1,110	1,609
Estimasi percepatan puncak (g)	0,150	0,113	0,164
<i>RMS</i> percepatan (m/s^2)	0,074	0,048	0,094
<i>RMS</i> percepatan (g)	0,0075	0,0049	0,0096
Estimasi kecepatan dinamis puncak (mm/s)	4.477	2.992	4.832
Estimated lendutan dinamis puncak (mm)	0.023	0.010	0.025
Frekuensi dominan (Hz)	18,64	14,42	14,42

Berdasarkan **Tabel 1** terlihat bahwa Lokasi 3 menghasilkan respons getaran terbesar, baik ditinjau dari percepatan puncak (*peak acceleration*), percepatan *RMS*, kecepatan puncak (*peak velocity*), maupun lendutan puncak (*peak deflection*). Nilai percepatan *RMS* pada lokasi ini mencapai $0,094 m/s^2$, sekitar 96% lebih besar dibandingkan Lokasi 2 yang hanya sebesar $0,048 m/s^2$. Hal ini menunjukkan bahwa area tersebut merupakan bagian lantai yang paling responsif terhadap eksitasi dinamis akibat aktivitas manusia.

Sebaliknya, Lokasi 2 menunjukkan respons getaran terkecil untuk seluruh parameter yang diukur. Kondisi ini mengindikasikan bahwa area tersebut memiliki kekakuan lokal yang lebih tinggi atau berada pada posisi yang kurang sensitif terhadap pembebanan dinamis dibandingkan lokasi lainnya.

Lokasi 1 memiliki karakteristik yang menarik karena menunjukkan frekuensi dominan sebesar 18,64 Hz, lebih tinggi dibandingkan Lokasi 2 dan Lokasi 3 yang sama-sama memiliki frekuensi dominan sebesar 14,42 Hz. Perbedaan ini dapat dijelaskan oleh keberadaan balok pada area pengukuran Lokasi 1. Kehadiran balok meningkatkan kekakuan lokal sistem lantai sehingga frekuensi respons yang terukur menjadi lebih tinggi. Meskipun demikian, amplitudo percepatan pada Lokasi 1 masih relatif tinggi dengan nilai *RMS* sebesar $0,074 m/s^2$, yang menunjukkan bahwa peningkatan kekakuan lokal tidak sepenuhnya menghilangkan respons getaran akibat aktivitas manusia.

Jika ditinjau dari hubungan antara percepatan, kecepatan, dan lendutan, terlihat bahwa lokasi dengan percepatan *RMS* yang lebih besar juga menghasilkan kecepatan dan lendutan yang lebih besar. Sebagai contoh, Lokasi 3 memiliki percepatan *RMS* tertinggi sebesar $0,094 m/s^2$ dan menghasilkan kecepatan puncak sebesar 4,832 mm/s serta lendutan puncak sebesar 0,025 mm. Sebaliknya, Lokasi 2 memiliki percepatan *RMS* terendah sebesar $0,048 m/s^2$ dan menghasilkan kecepatan puncak hanya 2,992 mm/s dengan lendutan puncak sebesar 0,01 mm. Hubungan ini menunjukkan bahwa amplitudo getaran merupakan faktor dominan yang mempengaruhi respons dinamis lantai.

Dari sudut pandang kenyamanan pengguna, parameter yang paling relevan adalah percepatan *RMS* karena berkaitan langsung dengan tingkat getaran yang dirasakan manusia. Meskipun frekuensi dominan Lokasi 1 lebih tinggi dibandingkan dua lokasi lainnya, nilai percepatan *RMS* yang relatif besar menunjukkan bahwa getaran masih dapat dirasakan oleh penghuni. Oleh karena itu, evaluasi tingkat

kenyamanan tidak hanya ditentukan oleh frekuensi getaran, tetapi juga oleh amplitudo percepatan yang terjadi.

Secara keseluruhan, hasil pengukuran menunjukkan bahwa variasi respons getaran antar lokasi lebih dipengaruhi oleh perbedaan amplitudo dan kekakuan lokal lantai dibandingkan oleh perubahan frekuensi dominan. Temuan ini mengindikasikan bahwa konfigurasi struktur lantai, khususnya keberadaan balok dan distribusi kekakuan pelat, memiliki peranan penting dalam menentukan tingkat getaran yang dirasakan pengguna bangunan.

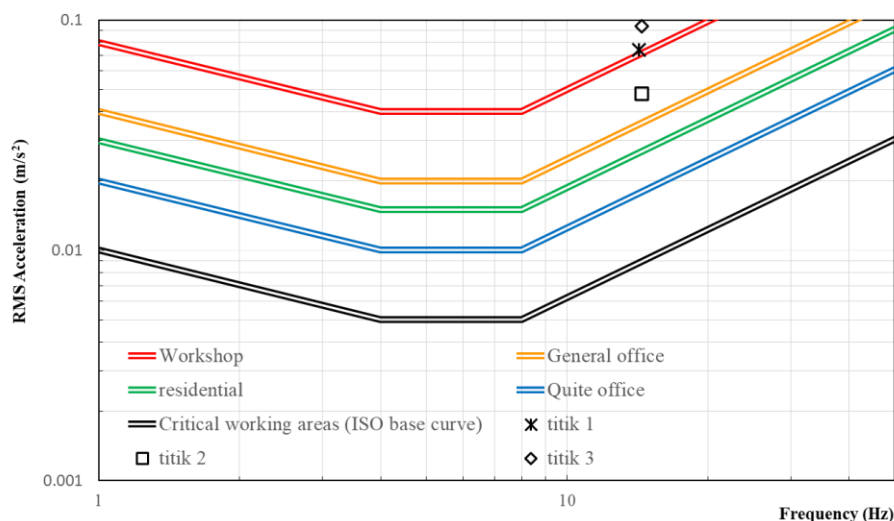
3.4. Evaluasi Tingkat Kenyamanan Berdasarkan ISO 10137

ISO 10137:2007 memberikan panduan untuk mengevaluasi tingkat kenyamanan manusia terhadap getaran pada bangunan berdasarkan kombinasi antara frekuensi getaran dan percepatan *RMS* (*root mean square acceleration*). Pada bangunan gedung, persepsi manusia terhadap getaran umumnya lebih sensitif dibandingkan batas yang berkaitan dengan keamanan struktur. Oleh karena itu, meskipun suatu bangunan masih aman secara struktural, getaran yang terjadi dapat tetap menimbulkan ketidaknyamanan bagi penggunanya. Evaluasi dilakukan dengan memplot nilai percepatan *RMS* hasil pengukuran terhadap kurva batas kenyamanan ISO 10137 untuk berbagai jenis penggunaan bangunan. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa frekuensi dominan berada pada rentang 14,42–18,64 Hz dengan percepatan *RMS* antara 0,048 m/s² hingga 0,094 m/s².

Berdasarkan **Gambar 7**, seluruh titik pengukuran berada di atas batas kenyamanan untuk bangunan perkantoran (*general office*). Bahkan pada Lokasi 3, nilai percepatan *RMS* telah melampaui batas yang direkomendasikan untuk area *workshop* (lihat

Tabel 2). Kondisi ini menunjukkan bahwa tingkat getaran yang terjadi tidak lagi memenuhi kriteria kenyamanan yang direkomendasikan oleh ISO 10137 untuk bangunan dengan fungsi perkantoran atau komersial.

Lokasi 3 menunjukkan kondisi paling kritis dengan percepatan *RMS* sebesar 0,094 m/s². Nilai ini sekitar 27% lebih tinggi dibandingkan Lokasi 1 dan hampir dua kali lipat dibandingkan Lokasi 2. Hasil tersebut sejalan dengan nilai percepatan puncak, kecepatan puncak, dan lendutan puncak yang juga menunjukkan respons terbesar pada lokasi tersebut. Dengan demikian, area ini dapat dianggap sebagai zona yang paling rentan terhadap gangguan kenyamanan akibat getaran.



Gambar 7. Plot frekuensi dan percepatan *RMS* pada batas kenyamanan getaran kriteria ISO 10137

Meskipun Lokasi 1 memiliki frekuensi dominan yang lebih tinggi (18,64 Hz), nilai percepatan *RMS* yang relatif besar menyebabkan titik tersebut tetap berada di atas batas kenyamanan yang direkomendasikan. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat kenyamanan pengguna tidak hanya dipengaruhi oleh frekuensi getaran, tetapi juga oleh amplitudo percepatan yang terjadi. Pada frekuensi menengah

hingga tinggi seperti yang terukur pada penelitian ini, peningkatan amplitudo percepatan akan meningkatkan kemungkinan getaran dirasakan oleh pengguna bangunan.

Tabel 2. Hasil Evaluasi terhadap ISO 10137

Lokasi	Frekuensi Dominan (Hz)	RMS Acceleration (m/s ²)	Evaluasi ISO 10137
Lokasi 1	18,64	0,074	Di atas batas <i>General Office</i> , mendekati batas <i>Workshop</i>
Lokasi 2	14,42	0,048	Di atas batas <i>General Office</i>
Lokasi 3	14,42	0,094	Di atas batas <i>Workshop</i>

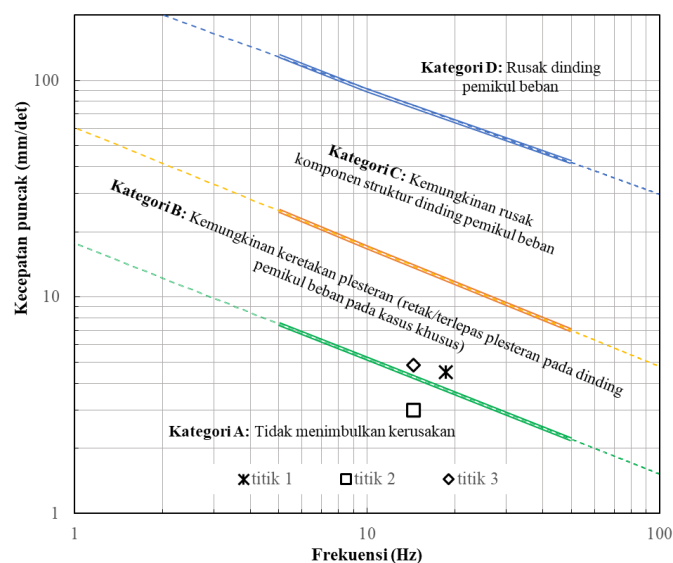
Hasil evaluasi ini konsisten dengan keluhan yang disampaikan penghuni lantai tiga yang merasakan getaran mengganggu selama aktivitas berlangsung. Oleh karena itu, berdasarkan kriteria ISO 10137 dapat disimpulkan bahwa getaran yang terjadi pada lantai tiga bangunan ruko ini telah melampaui batas kenyamanan yang direkomendasikan untuk bangunan perkantoran, sehingga berpotensi menimbulkan ketidaknyamanan bagi pengguna meskipun belum tentu mengindikasikan adanya permasalahan pada kekuatan struktur.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa permasalahan utama yang terjadi pada bangunan ini berkaitan dengan aspek *serviceability* (kenyamanan pengguna), bukan aspek *structural safety* (keamanan struktur). Temuan ini menegaskan pentingnya evaluasi getaran pada bangunan eksisting yang mengalami perubahan fungsi atau peningkatan aktivitas pengguna, terutama pada lantai yang digunakan untuk kegiatan dengan intensitas pergerakan manusia yang tinggi.

3.5. Evaluasi terhadap Kepmen LH No. 49 Tahun 1996

Selain dievaluasi terhadap aspek kenyamanan berdasarkan ISO 10137, hasil pengukuran juga dibandingkan dengan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 49 Tahun 1996 tentang Baku Tingkat Getaran. Berbeda dengan ISO 10137 yang berfokus pada kenyamanan manusia, Kepmen LH No. 49 Tahun 1996 digunakan untuk mengevaluasi potensi dampak getaran terhadap bangunan dan lingkungan. Salah satu parameter yang digunakan dalam evaluasi tersebut adalah kecepatan getaran puncak (*peak vibration velocity*) yang dibandingkan terhadap rentang frekuensi getaran yang terjadi.

Berdasarkan hasil pengukuran, frekuensi dominan bangunan berada pada rentang 14,42–18,64 Hz dengan kecepatan puncak hasil analisis antara 2,992 mm/s hingga 4,832 mm/s, yang hasilnya diplotkan seperti pada **Gambar 8**. Ringkasan hasil evaluasi disajikan pada Tabel 3.



Gambar 8. Plot frekuensi dan kecepatan puncak untuk evaluasi dampak getaran

Tabel 3. Evaluasi Kecepatan Getaran Berdasarkan Kepmen LH No. 49 Tahun 1996

Lokasi	Frekuensi Dominan (Hz)	Peak Velocity (mm/s)	Evaluasi
Lokasi 1	18,64	4,477	Mendekati batas Kategori A
Lokasi 2	14,42	2,992	Kategori A
Lokasi 3	14,42	4,832	Sedikit di atas batas Kategori A

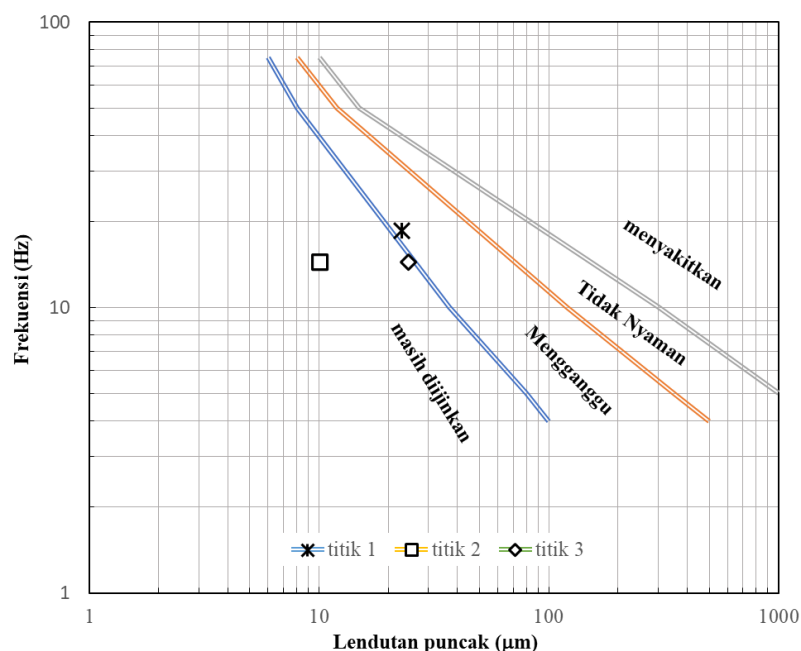
Berdasarkan grafik Kepmen LH No.49 Tahun 1996, batas Kategori A pada rentang frekuensi 10–20 Hz berada pada kisaran sekitar 4–5 mm/s.. Kategori ini umumnya merepresentasikan tingkat getaran yang tidak menimbulkan kerusakan pada bangunan dan hanya menimbulkan pengaruh yang sangat kecil terhadap elemen non-struktural.

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa Lokasi 2 memiliki kecepatan puncak sebesar 2,992 mm/s sehingga masih berada di bawah batas Kategori A. Lokasi 1 menghasilkan kecepatan puncak sebesar 4,477 mm/s yang berada sangat dekat dengan batas tersebut. Sementara itu, Lokasi 3 menunjukkan nilai terbesar yaitu 4,832 mm/s, sedikit lebih tinggi dibandingkan batas Kategori A pada frekuensi yang sama.

Meskipun demikian, perlu diperhatikan bahwa nilai kecepatan getaran yang diperoleh masih berada jauh di bawah rentang yang umumnya dikaitkan dengan potensi kerusakan struktural pada bangunan. Tidak ditemukan indikasi bahwa getaran yang terjadi dapat menyebabkan kerusakan pada elemen struktur utama seperti balok, kolom, maupun pelat lantai. Dengan demikian, getaran yang terukur lebih berpotensi menimbulkan gangguan kenyamanan pengguna dibandingkan risiko terhadap integritas struktur bangunan.

Jika dibandingkan dengan hasil evaluasi ISO 10137 pada subbab sebelumnya, terlihat adanya perbedaan yang cukup signifikan. Berdasarkan ISO 10137, seluruh titik pengukuran telah melampaui batas kenyamanan untuk bangunan perkantoran dan komersial. Sebaliknya, berdasarkan Kepmen LH No. 49 Tahun 1996, tingkat getaran yang terjadi masih berada pada rentang yang tidak mengindikasikan potensi kerusakan struktural. Temuan ini menunjukkan bahwa keluhan yang dirasakan penghuni bangunan lebih berkaitan dengan aspek kenyamanan daripada aspek keamanan struktur.

Sementara itu berdasarkan hasil analisis, frekuensi dominan getaran berada pada rentang 14,42–18,64 Hz dengan simpangan maksimum antara 10 μ m hingga 25 μ m. Hasil evaluasi diplotkan dalam **Gambar 9** dan disajikan pada **Tabel 4**.



Gambar 9. Plot frekuensi dan lendutan puncak untuk evaluasi dampak getaran

Tabel 4. Evaluasi Simpangan Getaran Berdasarkan Kepmen LH No. 49 Tahun 1996

Lokasi	Frekuensi Dominan (Hz)	Simpangan (μm)	Kategori Kepmen LH
Lokasi 1	18,64	23	Tidak nyaman
Lokasi 2	14,42	10	Masih diizinkan – mendekati batas tidak nyaman
Lokasi 3	14,42	25	Tidak nyaman

Berdasarkan grafik Kepmen LH No. 49 Tahun 1996, titik pengukuran pada Lokasi 1 dan Lokasi 3 berada pada zona tidak nyaman, sedangkan Lokasi 2 masih berada pada zona masih diizinkan, namun posisinya berada dekat dengan batas menuju zona tidak nyaman. Hasil ini menunjukkan bahwa getaran yang terjadi cukup besar untuk dirasakan oleh pengguna bangunan dan berpotensi menimbulkan gangguan kenyamanan selama aktivitas berlangsung.

Lokasi 3 menunjukkan kondisi paling kritis dengan simpangan sebesar 25 μm pada frekuensi dominan 14,42 Hz. Nilai tersebut merupakan yang terbesar di antara seluruh titik pengukuran dan konsisten dengan hasil evaluasi ISO 10137 yang juga menunjukkan tingkat percepatan *RMS* tertinggi pada lokasi yang sama. Sementara itu, Lokasi 2 menunjukkan respons getaran yang paling kecil dengan simpangan hanya 10 μm sehingga masih berada dalam rentang yang dapat diterima menurut Kepmen LH.

Secara umum, hasil evaluasi berdasarkan Kepmen LH No. 49 Tahun 1996 menunjukkan bahwa getaran pada lantai tiga bangunan ruko berada pada tingkat yang dapat dirasakan oleh manusia dan pada beberapa lokasi telah menimbulkan kondisi yang tidak nyaman. Temuan ini sejalan dengan keluhan pengguna bangunan yang merasakan gangguan getaran selama aktivitas berlangsung.

Jika dibandingkan dengan evaluasi berdasarkan ISO 10137, kedua metode menunjukkan kecenderungan yang konsisten, yaitu bahwa getaran yang terjadi telah melampaui tingkat kenyamanan yang direkomendasikan untuk bangunan perkantoran. Dengan demikian, permasalahan utama yang teridentifikasi pada bangunan ini berkaitan dengan aspek kenyamanan pengguna (*serviceability*) dan bukan aspek keamanan struktur (*structural safety*).

3.6. Implikasi Hasil Pengukuran terhadap Kenyamanan dan Kinerja Lantai

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa lantai tiga bangunan ruko memiliki frekuensi dominan pada rentang 14,42–18,64 Hz dengan percepatan *RMS* antara 0,048–0,094 m/s^2 . Frekuensi tersebut berada dalam rentang yang umum dijumpai pada sistem lantai beton bertulang dengan bentang relatif pendek dan kekakuan yang cukup tinggi. Meskipun demikian, amplitudo getaran yang terukur menunjukkan bahwa respons dinamis lantai masih dapat dirasakan secara nyata oleh pengguna bangunan.

Perbedaan respons getaran antar lokasi menunjukkan adanya pengaruh distribusi kekakuan lokal terhadap perilaku dinamis lantai. Lokasi 1 yang berada pada area dengan keberadaan balok menunjukkan frekuensi dominan yang lebih tinggi dibandingkan lokasi lainnya, sedangkan Lokasi 3 menghasilkan amplitudo percepatan, kecepatan, dan lendutan terbesar. Hal ini mengindikasikan bahwa area pelat yang relatif lebih fleksibel cenderung menghasilkan respons getaran yang lebih besar ketika menerima eksitasi akibat aktivitas manusia.

Evaluasi terhadap ISO 10137 menunjukkan bahwa seluruh titik pengukuran berada di atas batas kenyamanan yang direkomendasikan untuk bangunan perkantoran. Temuan ini menunjukkan bahwa getaran yang terjadi berpotensi menimbulkan ketidaknyamanan bagi pengguna dan konsisten dengan keluhan yang disampaikan penghuni bangunan. Sementara itu, evaluasi berdasarkan Kepmen LH No. 49 Tahun 1996 menunjukkan bahwa tingkat getaran berada pada rentang *masih diizinkan* hingga *tidak nyaman*, namun belum mencapai tingkat yang dapat dikategorikan sebagai *menyakitkan*.

Berdasarkan kedua evaluasi tersebut dapat disimpulkan bahwa permasalahan utama yang terjadi pada bangunan ini berkaitan dengan aspek kenyamanan pengguna (*serviceability*) dan bukan aspek kekuatan maupun keamanan struktur (*structural safety*). Tidak ditemukan indikasi bahwa tingkat getaran yang terjadi berpotensi menyebabkan kerusakan pada elemen struktur utama bangunan. Namun demikian,

keberadaan getaran yang berulang dan dapat dirasakan oleh pengguna berpotensi menurunkan kualitas lingkungan kerja dan kenyamanan penggunaan ruang.

Temuan ini menunjukkan bahwa evaluasi bangunan eksisting tidak hanya perlu mempertimbangkan aspek kekuatan struktur, tetapi juga aspek kenyamanan dinamis, terutama pada bangunan yang mengalami perubahan fungsi, peningkatan jumlah pengguna, atau aktivitas yang menghasilkan beban dinamis berulang. Oleh karena itu, apabila diperlukan tindakan perbaikan, strategi yang diterapkan sebaiknya difokuskan pada pengurangan amplitudo getaran melalui peningkatan kekakuan lantai, penambahan elemen perkuatan, atau pengendalian sumber eksitasi, bukan semata-mata peningkatan kapasitas kekuatan struktur.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengukuran, frekuensi dominan lantai berada pada rentang 14,42–18,64 Hz dengan percepatan *RMS* sebesar 0,048–0,094 m/s². Lokasi 3 menunjukkan respons terbesar, sedangkan Lokasi 2 menunjukkan respons terkecil. Variasi respons antarlokasi mengindikasikan pengaruh posisi pengukuran dan distribusi kekakuan lantai, tetapi faktor penyebabnya belum dapat dipastikan berdasarkan data yang tersedia. Evaluasi ISO 10137 menunjukkan bahwa seluruh titik berada di atas batas kenyamanan bangunan perkantoran dan konsisten dengan keluhan pengguna. Sementara itu, berdasarkan Kepmen LH No. 49 Tahun 1996, tingkat getaran berada pada rentang masih diizinkan hingga tidak nyaman. Dengan demikian, hasil pengukuran lebih mengindikasikan permasalahan kenyamanan, tetapi tidak dapat digunakan untuk memastikan keamanan struktur.

Apabila keluhan berlanjut, disarankan pengukuran ulang menggunakan accelerometer terkalibrasi, pengujian modal, inspeksi struktur, dan pemodelan lantai sebelum menentukan tindakan mitigasi atau perkuatan. Smartphone dapat dimanfaatkan sebagai alat screening awal yang praktis dan ekonomis, tetapi bukan sebagai pengganti evaluasi struktur secara menyeluruh.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. C. S. Kwok, P. A. Hitchcock, and M. D. Burton, "Perception of vibration and occupant comfort in wind-excited tall buildings," *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 97, no. 7–8, pp. 368–380, Sep. 2009, doi: 10.1016/j.jweia.2009.05.006.
- [2] S. Lamb, K. C. S. Kwok, and D. Walton, "A longitudinal field study of the effects of wind-induced building motion on occupant wellbeing and work performance," *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 133, pp. 39–51, Oct. 2014, doi: 10.1016/j.jweia.2014.07.008.
- [3] S. Lamb and K. C. S. Kwok, "The fundamental human response to wind-induced building motion," *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 165, pp. 79–85, Jun. 2017, doi: 10.1016/j.jweia.2017.03.002.
- [4] ISO, *ISO 10137, Bases for Design of Structures-Serviceability of Buildings and Walkways Against Vibration*. Geneva, 2007.
- [5] K. Heshmati, E. Shahabpoor, A. Darby, and I. Walker, "Moving from Human Perception to Acceptability: A Paradigm Shift in Vibration Serviceability Assessment of Tall Buildings," in *Structures Congress 2020*, Reston, VA: American Society of Civil Engineers, Apr. 2020, pp. 457–466. doi: 10.1061/9780784482896.042.
- [6] Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Indonesia No. 49, *Baku Tingkat Getaran*. Jakarta, Indonesia, Indonesia, 1996.
- [7] D. Zhang, J. Tian, and H. Li, "Design and Validation of Android Smartphone Based Wireless Structural Vibration Monitoring System," *Sensors*, vol. 20, no. 17, p. 4799, Aug. 2020, doi: 10.3390/s20174799.
- [8] E. Figueiredo, I. Moldovan, P. Alves, H. Rebelo, and L. Souza, "Smartphone Application for Structural Health Monitoring of Bridges," *Sensors*, vol. 22, no. 21, p. 8483, Nov. 2022, doi: 10.3390/s22218483.

- [9] N. R. Prasasti *et al.*, “Performance evaluation of smartphone-based vibration meter application software,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1896, no. 1, p. 012009, Apr. 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1896/1/012009.
- [10] J. D. Braidon and Z. M. C. Pravia, “Application of MEMS accelerometer of smartphones to define natural frequencies and damping ratios obtained from concrete viaducts and footbridge,” *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, vol. 15, no. 2, 2022, doi: 10.1590/s1983-41952022000200006.
- [11] H. Sarmadi, A. Entezami, K.-V. Yuen, and B. Behkamal, “Review on smartphone sensing technology for structural health monitoring,” *Measurement*, vol. 223, p. 113716, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.measurement.2023.113716.
- [12] Z. Ma, P. Liu, J. Choi, and H. Sohn, “High-sampled structural displacement estimation through the FIR filter-based two-stage fusion of high-sampled acceleration and temporally aliased low-sampled displacement measurements,” *Mech. Syst. Signal Process.*, vol. 208, p. 111056, Feb. 2024, doi: 10.1016/j.ymssp.2023.111056.
- [13] H. Khoeri and S. W. Alisjahbana, “Pemeriksaan Getaran Struktur dan Rekomendasi Perkuatan untuk Peningkatan Kapasitas Beban dan Pengurangan Getaran,” *Konstruksia*, vol. 15, no. 1, p. 79, Dec. 2023, doi: 10.24853/jk.15.1.79-96.
- [14] H. Khoeri, P. Nugroho, and R. Pradana, “Quick Assessment of Bridge Performance Based on Dynamic Parameters Acquired with Smartphone Application,” *Clean Energy and Smart Technology*, vol. 2, no. 2, pp. 81–91, 2024.
- [15] X. Zhang, R. P. Porro, J. Xu, H. Zhu, and Z. Li, “A review of smartphone sensing for structural health monitoring,” *J. Civ. Struct. Health Monit.*, vol. 16, no. 2, p. 17, Apr. 2026, doi: 10.1007/s13349-025-01037-2.