

Analisis Getaran Mekanis Pada Pelat Dan Balok Di Area Gedung Parkir Bertingkat

Silsila Jana Firdasa Sembiring^{1,*}, Mohd. Isneini², Masdar Helmi², Vera A Noorhidana², Endro P Wahono², Fikri Alami²

Program Studi Teknik Sipil, Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta, Jakarta¹, Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Lampung, Lampung².

Koresponden*, Email: silsila@uta45jakarta.ac.id

Info Artikel		Abstract
Diajukan	05 Agustus 2024	<i>This research is focused on determining the comfort of plates and beams in multi-storey parking buildings according to ISO 2631 2022 standards. The loading applied in this study is when the car is stationary and vibrating. Two methods are applied in this research, namely experimental and numerical methods. In the experimental method, the natural frequency of the plates and beams is 6.15 Hz with an acceleration of 0.01436 m/s², while in the analysis, the natural frequency of the plates and beams is 5.98 Hz and an acceleration of 0.018872 m/s². The comparison of experimental and numerical results for all scenarios is about 12%, so modeling analysis with civil engineering-based applications can be used for reinforcement as a recommendation. The strengthening is done by adding stiffness in the form of IWF 300 x 150 x 6.5 (mm) in the x and y directions. The y-direction (5 m) reinforcement is more effective and efficient than the x-direction (8 m) because it can increase the natural frequency of the slab by 58% and decrease the acceleration by 33%.</i>
Diperbaiki	10 Maret 2025	
Disetujui	10 Maret 2025	
Kata kunci: multi-storey parking building, vibration, natural frequency, acceleration, reinforcement.		
Keywords: gedung parkir bertingkat, getaran, frekuensi alami, akselerasi, kekuatan.		Abstrak Penelitian ini difokuskan untuk menentukan kenyamanan pelat dan balok pada gedung parkir bertingkat sesuai standar ISO 2631 2022. Pembebanan yang diterapkan pada penelitian ini adalah pada saat mobil diam dan bergetar. Dua metode yang diterapkan dalam penelitian ini yaitu metode eksperimental dan numerik. Pada metode eksperimen diperoleh frekuensi alami pelat dan balok sebesar 6,15 Hz dengan percepatan 0,01436 m/s ² , sedangkan pada analisis diperoleh frekuensi alami pelat dan balok sebesar 5,98 Hz dan percepatan 0,018872 m/s ² . Perbandingan hasil eksperimen dan numerik untuk seluruh skenario adalah sekitar 12%, sehingga analisis pemodelan dengan aplikasi berbasis teknik sipil dapat digunakan untuk penguatan sebagai rekomendasi. Penguatan dilakukan dengan menambahkan kekakuan berupa IWF 300 x 150 x 6,5 (mm) pada arah x dan y. Tulangan dengan arah y (5 m) lebih efektif dan efisien dibandingkan dengan arah x (8 m) karena dapat meningkatkan frekuensi alami pelat sebesar 58% dan menurunkan percepatan sebesar 33%.

1. Pendahuluan

Pembangunan gedung parkir di Indonesia sudah banyak diterapkan khususnya pada bangunan pembelajaran modern seperti *mall*, tetapi dalam perencanaannya hanya memperhitungkan berat statis saja seperti bangunan gedung umumnya yang diatur dalam SNI 1727: tentang beban minimum untuk perencanaan bangunan gedung dan struktur lain [1]. Sedangkan kendaraan dapat menghasilkan getaran baik dalam keadaan bergerak ataupun dalam kondisi diam dengan mesin hidup/ *steady state machine* [2]

Frekuensi alami struktur merupakan representasi dari fleksibilitas struktur yang merupakan fungsi dari kekakuan dan massa, frekuensi tersebut dapat ditingkatkan dengan menambah kekakuan atau mengurangi massa pada bangunan [3], [4]. Getaran akan timbul ketika frekuensi alami pada

struktur mendekati frekuensi getaran orang yang berjalan di atasnya sehingga dapat menimbulkan ketidaknyamanan [5].

Getaran adalah gerakan periodik atau gerakan berulang secara berkala partikel-partikel suatu medium dalam arah berlawanan secara bergantian dari posisi keseimbangan yang mengakibatkan keseimbangan tersebut terganggu [6]. Sering kali terlihat dilapangan khususnya ditempat perbelanjaan seperti Mall kebanyakan orang menunggu di dalam mobil dalam keadaan mesin menyala. Getaran yang dihasilkan oleh mesin apabila dilakukan rutin dan dengan periode yang lama tidak hanya mengganggu kenyamanan, melainkan dapat menyebabkan kelelahan pada material bangunan. Getaran mesin dapat terjadi apabila gaya putar/torsinya tidak seimbang dalam artian sehingga gaya tersebut tidak mempunyai

nilai tetap, perubahan tekanan, dan perubahan momen lentur dalam setiap gerakan benda [7].

Getaran dapat dirasakan ketika frekuensi alami pada stuktur mendekati fekuensi getaran orang yang bejalan diatasnya sehingga menyebabkan percepatan lantai dan deformasi yang berlebihan yang mengakibatkan ketidaknyamanan pada manusia, kelelahan struktural, bahkan kegagalan sistem struktural [8]. Kenyamanan pada pelat terhadap getaran yang diterima oleh manusia ketika frekuensinya berada pada 4-8 Hz [9], [10]. Panjang bentang, tebal pelat, dimensi struktural, dan material yang digunakan berpengaruh terhadap Kenyamanan pada pelat [11]-[12].

Penanggulangan getaran dapat dilakukan dengan penambahan kekakuan ataupun alat redaman [13]-[14]. Redaman dapat ditingkatkan dengan menggunakan alat peredam TMD (*Tuned Mass Dampers*) dengan FRR (*Fiber Reinforced Rubber*). FRR pada TMD meningkatkan rasio redaman pelat dari 1,21% tanpa menggunakan TMD menjadi 2,03% dengan menggunakan TMD dan 2,56% dengan menggunakan TMD+FRR, sedangkan akselerasi langkah kaki yang diterapkan pada slab berkurang dari 0,201 g hingga 0,081 g [15]. Sedangkan penambahan kekakuan dengan melakukan pemasangan rangka batang baja hollow yang ditempelkan di kedua sisi badan balok induk dapat mengubah frekuensi getar sistem lantai dari 3,6 Hz menjadi 8,62 Hz [16].

Pada penelitan ini dikhususkan untuk mengkaji perilaku getaran terhadap pelat dan balok struktural gedung parkir bertingkat terhadap kenyamanan yang diterima oleh manusia dan menindak lanjuti permasalahan getaran yang terjadi. Standarisasi untuk tingkat kenyamanan penelitian ini menggunakan ISO 2631-2, 2022 yaitu pada *rhythmic activities* dikarenakan pada gedung parkir banyak terjadi aktivitas getaran baik secara dinamis maupun statis. Kurva puncak percepatan yang disarankan untuk kenyamanan manusia terhadap vibrasi berada di frekuensi 4-8 Hz dan akselerasi tidak boleh melebihi dari 5% gravitasi. Getaran mekanis yang disalurkan hanya ditinjau dari arah vertikal terhadap pelat dan balok.

Metode diterapkan pada penelitian ini yaitu metode eksperimen dan numerik. Metode eksperimen dilakukan dengan menggunakan alat akselerometer untuk menangkap getaran, sedangkan metode numerik dilakukan dengan memodelkan struktur sesuai kondisi di lapangan menggunakan aplikasi berbasis teknik sipil.

2. Metode

Pada penelitian ini digunakan dua metode yaitu metode eksperimental dan metode numerik. Metode eksperimental dilakukan dengan cara tidak merusak struktur (*non*

destructive test). Alat yang digunakan berupa *hammer test*, *hardness tester* dan akselerometer [17]. Sedangkan metode numerik menggunakan software aplikasi berbasis teknik sipil.

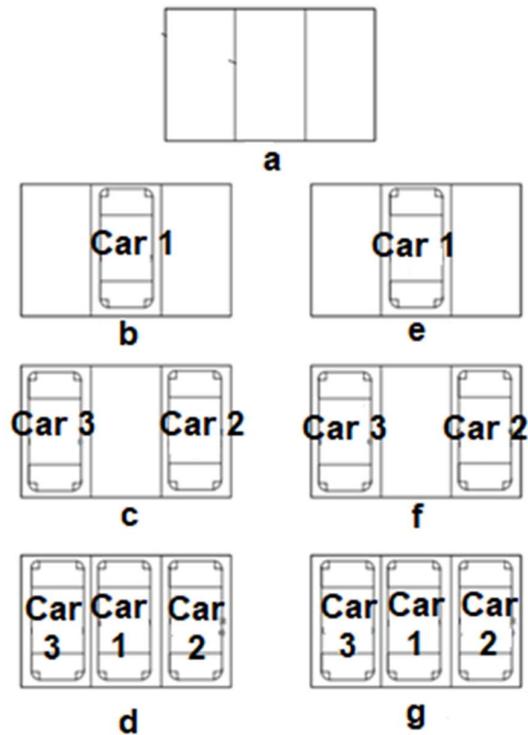
Eksperimental

Pada metode ini pengambilan data getaran dilakukan dengan uji getaran dari tiga buah mobil yaitu Rush hitam tahun 2007, Inova hitam 2014, Fortuner putih tahun 2014 yang diletakan di atas pelat pada lokasi penelitian. Data getaran didapatkan dengan menggunakan alat akselerometer yang diletakan pada pelat dan balok saat mesin diam dan menyala sehingga dapat terekam secara otomatis oleh sensor. Pengujian dilakukan oleh 2 kondisi, kondisi pertama saat parkir tidak ramai aktivitas dari jam 06.00 – 08.00 pagi dan kondisi ramai pada jam 17.00- 18.00 sore. Kondisi tersebut digunakan untuk membedakan antar kondisi untuk pemodelan dan kondisi real (terjadi dilapangan).

Tabel 1. Deskripsi Skenario

No.	Skenario	Code
1.	Tidak ada kendaraan (Gambar 1.a)	
2.	Satu mobil dalam keadaan mesin diam (Gambar 1.b)	
3.	Dua mobil dalam keadaan mesin diam (Gambar 1.c)	
4.	Tiga mobil dalam keadaan mesin diam (Gambar 1.d)	
5.	Satu mobil dalam keadaan mesin bergetar (Gambar 1.e)	
6.	Dua mobil dalam keadaan mesin bergetar (Gambar 1.f)	
7.	Tiga mobil dalam keadaan mesin bergetar (Gambar 1.g)	

Tabel 1 menjelaskan tujuh skenario yang diterapkan dalam penelitian ini, skenario pertama saat tidak adanya beban sama sekali di atas pelat, skenario kedua saat mesin kendaraan 1 diam, skenario ketiga saat mesin kendaraan 1 dan 2 diam, skenario keempat saat mesin kendaraan 1, 2 dan 3 diam, skenario kelima saat mesin kendaraan 1 bergetar, skenario keenam saat mesin kendaraan 1 dan 2 bergetar, dan skenario ketujuh saat mesin kendaraan 1, 2 dan 3 bergetar. Skenario dilakukan untuk membandingkan nilai dari frekuensi natural yang terjadi saat penambahan dalam keadaan mesin diam maupun bergetar. Akselerometer mencatat data berupa percepatan pada arah x, y, z dari perlakuan yang diberikan. Deskripsi skenario dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Skenario Penelitian

Hasil yang didapat dari eksperimental menggunakan alat *Hammer Test* (kolom dan pelat), *Hardness Tester* (balok anak dan induk), dan akselerometer (pelat dan balok) ditampilkan dalam bentuk data dibawah:

Profil Struktur

$f'c$ Pelat Beton = 37,68 MPa (350 mm)
 $f'c$ Kolom = 19,11MPa (500 x 500 mm)

Balok Anak x = IWF 440 x 160 x7 x 12
 f_y = 210 Mpa
 f_u = 340 Mpa

Balok Anak y = IWF 150 x 90 x12 x 8
 f_y = 240 Mpa
 f_u = 360 Mpa

Balok Induk x = IWF 440 x 160 x7 x 12
 f_y = 210 Mpa
 f_u = 340 Mpa

Balok Induk y = IWF 520 x170 x8,5 x11
 f_y = 250 Mpa
 f_u = 410 Mpa

Sumber Getaran

Car 1 = Black Rush 2007
 Frekuensi = 6,99 Hz
 Acceleration= 0,45489 m/s²
 Wight = 12,45 kN

Car 2 = Black Inova 2014
 Frekuensi = 3,27 Hz
 Akseleraton= 0,38307 m/s²
 Wight = 16,00 kN

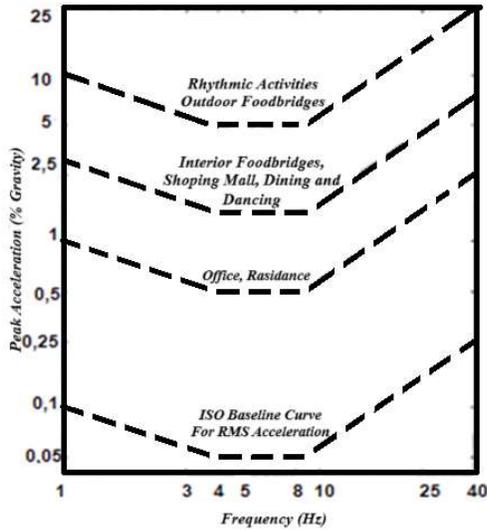
Car 3 = White Fortuner 2014
 Frekuensi = 0,01 Hz
 Akseleraton= 4,43884 m/s²
 Wight = 17,90 kN

Hasil skenario yang telah dilaksanakan akan dibandingkan nilai frekuensi dan akselerasinya. Pengolahan nilai frekuensi dan amplitudo digunakan metode *Fast Fourier Transform* (FFT). *Fast Fourier Transform* (FFT) adalah teknik perhitungan operasi matematika yang digunakan untuk mentransformasi sinyal analog menjadi sinyal digital berbasis frekuensi [18]-[19]. Pada penelitian ini digunakan aplikasi *LoggerPro trial 40 days* yang dapat mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital berbasis frekuensi [20].

Numerik

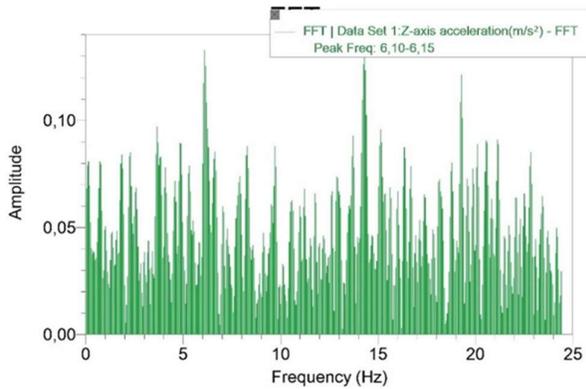
Pada metode ini data yang didapat dari hasil penelitian eksperimental di lapangan dengan menggunakan alat *Hammer Test*, *Hardness Tester* dan akselerometer akan dilakukan kalibrasi terlebih dahulu. Setelah itu data tersebut akan diolah sebagai data hasil dari lapangan. Hasil yang didapat akan dilakukan analisis dengan menggunakan aplikasi berbasis teknik sipil sebagai pebandingan antara perhitungan di lapangan dengan perhitungan numerik yang menggunakan program. Program ini sering digunakan dalam perhitungan getaran khususnya pada bangunan gedung [21]-[22].

Standarisasi untuk tingkat kenyamanan pada struktur bangunan gedung parkir menggunakan ISO 2631-2, 2022 yaitu pada *rhythmic activities* dikarenakan pada gedung parkir banyak terjadi aktivitas getaran baik secara dinamis maupun statis. Kurva puncak percepatan yang disarankan untuk kenyamanan manusia terhadap vibrasi berada di frekuensi 4-8 Hz dan akselerasi tidak boleh melebihi dari 5% gravitasi (**Gambar 2**).

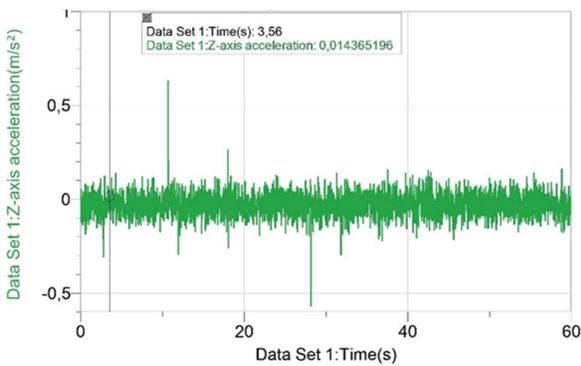


Gambar 2. Kurva puncak percepatan yang disarankan untuk kenyamanan manusia terhadap vibrasi

3. Hasil dan Pembahasan



Gambar 3. Frekuensi Natural Pelat Skenario 1



Gambar 4. Akselerasi Pelat Skenario 1

Gambar 3 dan 4 adalah hasil dari getaran yang diberikan pada skenario pertama menggunakan alat akselerometer

dengan pengolahan FFT menggunakan aplikasi *LoggerPro Trial 40 days*. Untuk hasil seluruh skenario akan ditampilkan dalam bentuk **Tabel 2** dan **3**.

Tabel 2. Hasil Penelitian Eksperimental Kondisi Sepi

Kondisi	Kondisi Sepi			
	Pelat		Balok	
	Acce (m/s ²)	Freq (Hz)	Acce (m/s ²)	Freq (Hz)
Skenario 1	0.01436	6,15	0.04309	8.89
Skenario 2	0.02394	5.57	0.07182	8,84
Skenario 3	0.02394	5,11	0.07182	8,4
Skenario 4	0.03830	4.64	0.09576	7,15
Skenario 5	0.28730	4.54	0.36871	8.59
Skenario 6	0.33519	3,28	0.36870	6,37
Skenario 7	0.33997	3,03	0.38307	5.06

Tabel 3. Hasil Penelitian Eksperimental Kondisi Ramai

Kondisi	Kondisi Ramai			
	Pelat		Balok	
	Acce (m/s ²)	Freq (Hz)	Acce (m/s ²)	Freq (Hz)
Skenario 1	0.01436	6,15	0.04309	8.89
Skenario 2	0.02390	7,87	0.20590	9.57
Skenario 3	0.26336	7.08	0.28251	9,42
Skenario 4	0.26336	5,15	0.23942	4.49
Skenario 5	0.28730	4.52	0.28251	3.54
Skenario 6	0.23941	2.47	0.30645	3.84
Skenario 7	0.26815	1.68	0.27828	2.60

Hasil eksperimental diatas menjelaskan bahwasannya pada pelat dan balok memiliki hasil yang berbeda dikarenakan pelat memiliki tebal yang besar yaitu sekitar 350 mm sehingga penyaluran getaran menuju balok menjadi sedikit, hal tersebutlah yang menyebabkan frekuensi balok lebih besar ketimbang pelat. Pada kondisi sepi percobaan skenario yang dilakukan seperti skenario 1 sampai dengan skenario 4 (kondisi statis) natural frekuensi pada stuktur berkurang seiring bertambahnya beban, begitu pula halnya dengan skenario 5 sampai dengan 7 (kondisi dinamis) natural frekuensi berkurang lebih banyak dibandingkan dengan kondisi statis dikarenakan adanya getaran pada mesin. Untuk kondisi ramai sama halnya mengalami penurunan frekuensi tetapi frekuensi pelatnya pada kondisi 1 mengalami kenaikan dari frekuensi alami asli dikarenakan adanya getaran sekitar yang mempengaruhi pelat saat diuji seperti pompa air, kendaraan

yang lewat, suara sirene kereta, dan hentakan kaki pengujung yang tiba.

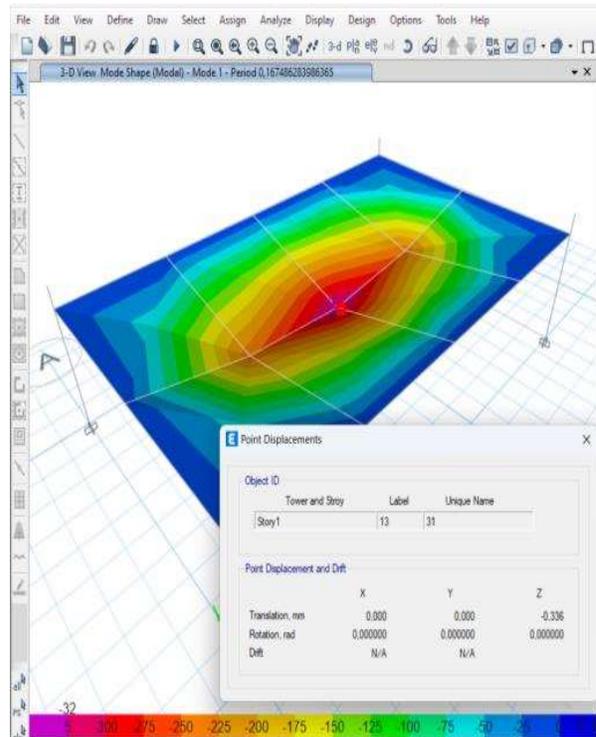
Diperlukannya perkuatan untuk menaikkan frekuensi dan menurunkan akselerasi pada struktur. Proses penambahan kekakuan dapat dihitung dengan melakukan analisis dengan memodelkan struktur pada aplikasi berbasis teknik sipil. Hasil yang didapat dari analisis beupa periode dan akselerasi dari struktur yang dimodelkan. Pengambilan nilai periode dan akselerasi pada aplikasi dapat dilakukan dengan cara melakukan *running* terlebih dahulu. Hasil dari periode skenario pertama dapat dilihat pada **Gambar 5**.

Warna merah pada *deform mode shape* menandakan terjadinya translasi yang besar sedangkan semakin memuda warnanya maka translasi tidak terjadi. Transansi terbesar berada pada join ke 13 yaitu sebesar -0,336 mm. Sedangkan hasil akselerasi skenario pertama dapat dilihat pada **Gambar 6**.

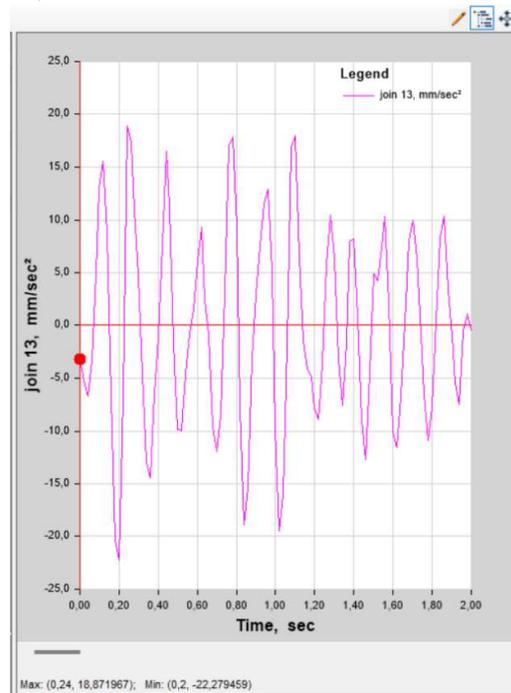
Pada dasarnya analisis ini dilakukan untuk memberikan alternatif solusi/rekomendasi terhadap getaran yang melebihi batasan menurut ISO 2631-2, 2022. Oleh karena itu analisis yang dilakukan harus dibandingkan terlebih dahulu dengan hasil yang didapat di lapangan. Berikut adalah perbandingan hasil eksperimental dengan analisis ditampilkan dalam bentuk **Tabel 4**.

Analisis yang didapatkan pada percobaan skenario 1 beupa periode dan akselerasi yang ditampilkan pada **Gambar 5 dan 6**. Periode pada struktur sebesar 0,1674862 s sehingga frekuensi yang didapat $1/0,1674862$ atau berkisar 5,98 Hz. Sedangkan akselerasi yang didapat sebesar $18,871967 \text{ mm/s}^2$ atau berkisar $0,01887 \text{ m/s}^2$. Hasil analisis pada percobaan eksperimental dan analisis didapat perbedaan frekuensi rata-rata sebesar 12% dan akselerasi sebesar 20%. Dilihat dari persentase **Tabel 4** pembuatan model memungkinkan untuk digunakan dalam perhitungan penambahan kekakuan.

Penambahan kekakuan pada analisis ini dilakukan percobaan menggunakan IWF 300 x 150 x 6,5 (mm) dengan pemasangan pada arah x dan y. Dalam penambahan kekakuan ini dapat meningkatkan frekuensi struktur bangunan. Frekuensi adalah perwujudan dari kekakuan per masa. Semakin tinggi kekakuannya maka akan semakin tinggi frekuensinya. Kekakuan sendiri dipengaruhi oleh inersia elemen suatu struktur. Semakin tinggi inersianya maka nilai kekakuan juga akan semakin tinggi. Sedangkan inersia dipengaruhi oleh dimensi elemen yang digunakan. Semakin besar dimensi elemen tersebut maka kekakuannya akan semakin besar pula.



Gambar 5. Mode Shape Skenario 1 (0,167 s atau 5,89 Hz)



Gambar 6. Akselerasi Skenario 1

Tabel 4. Perbandingan Hasil Eksperimen dan Numerik

Skenario	Experimen		Numerik		Experimen		Numerik	
	<i>Freq</i> (Hz)	<i>Freq</i> (Hz)	<i>Freq</i> (Hz)	%	<i>Acce</i> (m/s ²)	<i>Acce</i> (m/s ²)	<i>Acce</i> (m/s ²)	%
1	6,15	5,98	5,98	3%	0,01436	0,01887	0,01887	31%
2	5,57	5,58	5,58	0%	0,02394	0,02135	0,02135	11%
3	5,11	5,45	5,45	7%	0,02394	0,02629	0,02629	10%
4	4,64	5,15	5,15	11%	0,03830	0,03138	0,03138	18%
5	4,54	4,76	4,76	5%	0,28730	0,23757	0,23757	17%
6	3,28	4,44	4,44	35%	0,33519	0,36637	0,36637	9%
7	3,03	3,87	3,87	22%	0,33997	0,48381	0,48381	42%
Rata-rata				12%				20%

Tabel 5. Perbandingan Hasil Frekuensi Natural dan Akselerasi Sebelum dan Setelah Dilakukan Perkuatan pada Arah Y

Skenario	Tanpa Perkuatan			Perkuatan			Tanpa Perkuatan			Perkuatan		
	<i>Freq</i> (Hz)	<i>Freq</i> (Hz)	%	<i>Freq</i> (Hz)	<i>Freq</i> (Hz)	%	<i>Acce</i> (m/s ²)	<i>Acce</i> (m/s ²)	%	<i>Acce</i> (m/s ²)	<i>Acce</i> (m/s ²)	%
1	5,98	9,31	56%	5,98	9,31	56%	0,01887	0,03304	75%	0,01887	0,03304	75%
2	5,58	8,7	56%	5,58	8,7	56%	0,01537	0,01986	29%	0,01537	0,01986	29%
3	5,45	8,55	57%	5,45	8,55	57%	0,02402	0,02743	14%	0,02402	0,02743	14%
4	5,15	8,07	57%	5,15	8,07	57%	0,03989	0,03449	14%	0,03989	0,03449	14%
5	4,76	7,74	63%	4,76	7,74	63%	0,02375	0,16587	30%	0,02375	0,16587	30%
6	4,44	7,03	58%	4,44	7,03	58%	0,36637	0,15199	59%	0,36637	0,15199	59%
7	3,87	6,1	58%	3,87	6,1	58%	0,48381	0,25777	47%	0,48381	0,25777	47%
Rata-rata			58%			58%			38%			38%

Tabel 6. Perbandingan Hasil Frekuensi Natural dan Akselerasi Sebelum dan Setelah Dilakukan Perkuatan pada Arah X

Skenario	Tanpa Perkuatan			Perkuatan			Tanpa Perkuatan			Perkuatan		
	<i>Freq</i> (Hz)	<i>Freq</i> (Hz)	%	<i>Freq</i> (Hz)	<i>Freq</i> (Hz)	%	<i>Acce</i> (m/s ²)	<i>Acce</i> (m/s ²)	%	<i>Acce</i> (m/s ²)	<i>Acce</i> (m/s ²)	%
1	5,98	6,95	16%	5,98	6,95	16%	0,01887	0,02554	35%	0,01887	0,02554	35%
2	5,58	6,6	18%	5,58	6,6	18%	0,01537	0,02936	39%	0,01537	0,02936	39%
3	5,45	6,45	18%	5,45	6,45	18%	0,02402	0,02496	4%	0,02402	0,02496	4%
4	5,15	6,13	19%	5,15	6,13	19%	0,03989	0,05165	29%	0,03989	0,05165	29%
5	4,76	5,67	19%	4,76	5,67	19%	0,02375	0,21144	11%	0,02375	0,21144	11%
6	4,44	5,26	18%	4,44	5,26	18%	0,36637	0,32108	12%	0,36637	0,32108	12%
7	3,87	4,56	18%	3,87	4,56	18%	0,48381	0,35986	26%	0,48381	0,35986	26%
Rata-rata			18%			18%			30%			30%

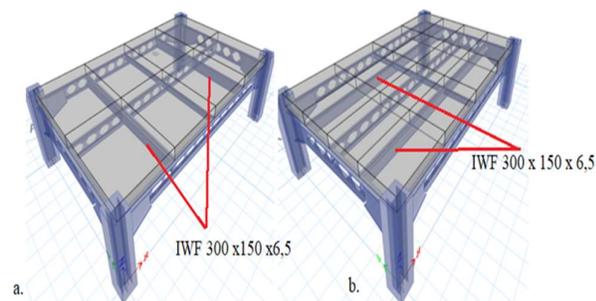
Tabel 4. menjelaskan perbedaan hasil eksperimen dan analisis dikarenakan pemodelan yang dilakukan dengan satu segemen pelat dan kolom pada balok terputus, sedangkan dalam eksperimennya hanya difokuskan terhadap pelat dan balok saja. Pada aplikasi berbasis teknik sipil ini memiliki

keterbatasan dimana frekuensi natural yang didapat untuk seluruh struktur bangunan, sehingga untuk detail pelat dan balok tidak bisa dimodelkan secara sempurna. Tetapi dapat diilustrasikan saat melakukan runnig aplikasi untuk

pergerakan struktur hanya searah vertikal saja, sehingga hasil output pleat dan balok dapat dilihat.

Pada skenario 1-5 ketetapan kenyamanan menurut ISO 2631-2, 2022 sudah terpenuhi, sedangkan pada keadaan mesin bergetar (dinamis) diskenario 6-7 untuk frekuensi natural struktur tidak memasuki kategori kenyamanan pada ISO 2631-2, 2022. Skenario 7 adalah skenario paling krusial diantara skenario yang lain, dikarenakan getaran 3 mobil yang diterima oleh struktur begitu besar. Oleh karena itu dilakukan perkuatan pada struktur menggunakan IWF 300 x 150 x 6,5 (mm) dengan pengujian pemasangan arah x dan y seperti pada **Gambar 7**.

Pada **Tabel 5** Didapat hasil frekuensi natural struktur dengan penambahan IWF 300 x 150 x 6,5 (mm) arah y lebih naik signifikan sebesar 58 % dan akselerasi turun sebanyak 38% dari natural frekuensi sebelum penambahan kekakuan. Sedangkan pada **Tabel 6** untuk frekuensi natural arah x hanya naik sekitar 18% dan akselerasi turun 30 % dari frekuensi natural awal. Percobaan penambahan IWF dilakukan untuk memberikan solusi penambahan kekakuan dengan arah yang lebih efektif.



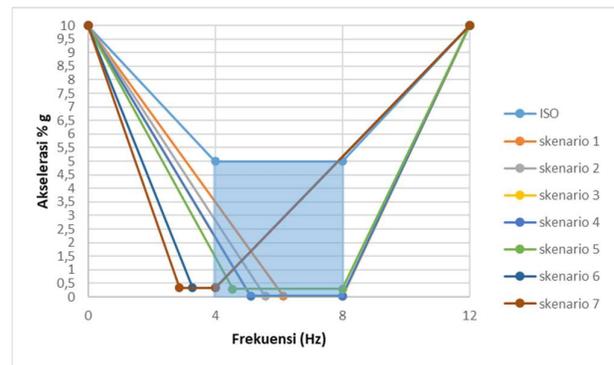
Gambar 7. Peletakan IWF arah y (a) dan x (b)

Penerapan skenario yang dilakukan pada penelitian ini disesuaikan dengan kemungkinan aktivitas yang biasanya dilakukan oleh pengunjung. Dari hasil yang didapat, penambahan beban statis pada pelat dapat mengakibatkan penurunan frekuensi natural dan pertambahan akselerasi pada pelat tetapi tidak signifikan. Penurunan frekuensi natural dan penambahan akselerasi yang signifikan ditandai dengan adanya getaran dinamis yang diberikan pada pelat.

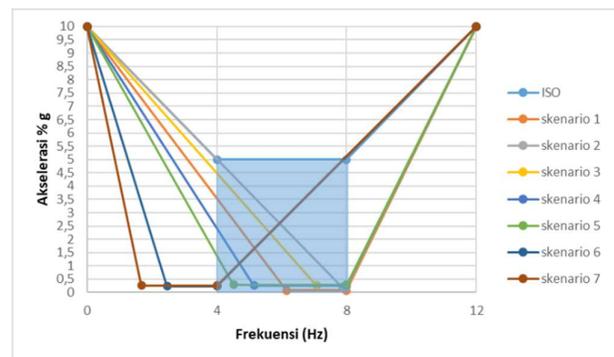
$$f_n = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{k}{m}} \tag{1}$$

Frekuensi akan naik apabila kekakuan pada struktur besar, jika struktur memiliki kekakuan yang kecil maka

frekuensi akan turun. Sedangkan hubungan frekuensi dengan masa berbanding terbalik dengan kekakuan, jika masa yang diberikan begitu besar maka frekuensi yang diterima menjadi kecil. Dari banyaknya skenario yang telah dilakukan, skenario 6 dan 7 mengalami penurunan frekuensi yang signifikan dibandingkan dengan skenario lainnya. Sehingga pada skenario tersebut tidak mencakup kenyamanan yang disarankan menurut ISO 2631-2 tahun 2022. Gambar 8 memperlihatkan perbandingan getaran yang didapat per-skenario dengan Batasan ISO 2631-2 yang disarankan untuk kenyamanan.



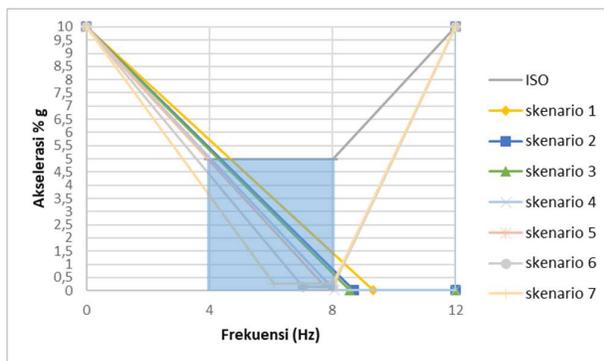
Gambar 8. Grafik Perbandingan Hasil Eksperimental Kondisi Sepi dengan ISO 2631-2



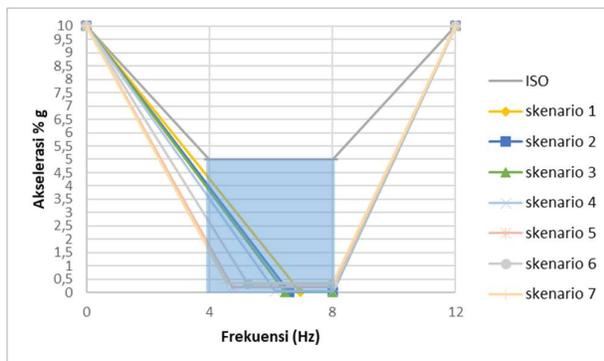
Gambar 9. Grafik perbandingan hasil eksperimental kondisi ramai dengan ISO 2631-2

Berdasarkan **Gambar 8** dan **9** untuk skenario 1 sampai dengan 5 pada kondisi sepi dan ramai menurut ISO 2631- 2 tahun 2022 masih dalam kategori yang cukup nyaman, sedangkan untuk skenario 6 dan 7 akselerasi masih dalam kondisi nyaman tetapi frekuensi natural dalam kategori yang sebaliknya. Menurut ISO 2631-2 tahun 2022 kategori dikatakan nyaman untuk gedung parkir ketika frekuensi berada antara 4- 8 Hz dan akselerasi tidak melebihi 5% dari gravitasi atau setara dengan 0,49 m/s².

Frekuensi natural dan akselerasi pelat tanpa beban sudahlah aman, tetapi seiring berjalannya waktu apabila kondisi pada skenario 2-7 selalu diterapkan, maka akan menyebabkan penurunan frekuensi natural pada pelat tersebut. Untuk mencegah terjadinya ketidaknyamanan dan kerusakan pada struktur haruslah dilakukan perkuatan. Oleh karena itu pada perhitungan numerik dibuatkan model yang serupa seperti pada model eksisting, sehingga perkuatan dapat dilakukan analisis dengan model tersebut. Hasil analisis dilakukan dengan perkuatan menggunakan IWF 300 x 150 x 6,5 (mm). Perkuatan dilakukan pada dua arah yaitu x dan y. Diupayakan untuk hasil perkuatan yang disarankan memenuhi persyaratan ISO 2631-2, 2022. **Gambar 9** dan **10** memperlihatkan perbandingan perkuatan arah y dan x dengan ISO 2631-2, 2022.



Gambar 10. Grafik Perbandingan Perkuatan arah y dengan ISO 2631-2



Gambar 11. Grafik Perbandingan Perkuatan arah x dengan ISO 2631-2.

Pada arah x frekuensi natural arah hanya naik sekitar 18 % dan akselerasi turun 30% dari frekuensi natural awal dan seluruh skenario masuk kedalam lingkup kenyamanan menurut ISO 2631-2, 2022. Sedangkan pada arah y frekuensi natural lebih naik signifikan sebesar 58 % dan akselerasi turun 38% dari sebelum penambahan kekakuan, tetapi pada

skenario 1 - 4 mengalami kenaikan frekuensi yang sangat besar melebihi yang disarankan menurut ISO 2631-2, 2022. Hal tersebut menandakan kekakuan yang diberikan melebihi kekakuan dari struktur awal. Kekakuan yang tinggi baik dalam suatu perencanaan dikarnakan dapat menahan massa yang besar. Untuk kedua perkuatan dapat dilakukan karena sudah memenuhi kenyamanan yang disarankan menurut ISO 2631-2, 2022. Disarankan untuk penambahan kekakuan menggunakan perkuatan arah y dikarenakan penambahan frekuensi lebih signifikan dan lebih efektif dibandingkan arah x.

4. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan secara eksperimen dan numerik dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Penambahan beban statis dan dinamis saat kondisi sepi pada pelat dapat menurunkan frekuensi natural dan menaikkan akselerasi pada pelat.
2. Pada kondisi ramai perilaku penurunan frekuensi akibat penambahan beban statis sama halnya dengan kondisi sepi. Tetapi penambahan getaran dimais pada kondisi ramai mengakibatkan frekuensi natural struktur turun secara signifikan.
3. Frekuensi natural dan akselerasi pada pelat tanpa menggunakan beban sudah cukup nyaman menurut ISO 2631-2 tahun 2022.
4. Ketidaknyamanan terjadi ketika 2 atau 3 mobil digetarkan secara bersamaan, sehingga frekuensi pelat menurun dan akselerasi bertambah saat terjadinya getaran.
5. Penambahan kekakuan menggunakan IWF 300 x 150 x 6,5 (mm) arah y menaikkan frekuensi natural 58% dan menurunkan akselerasi 38% sedangkan arah x menaikkan frekuensi natural 18% dan menurunkan akselerasi 30%.
6. Kedua perkuatan yang telah dilakukan sudah cukup nyaman menurut ISO 2631-2 tahun 2022 dan metode penambahan kekakuan yang paling efektif adalah perkuatan arah y.

Daftar Pustaka

- [1] 1727 SNI, "Beban desain minimum dan Kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain," *Badan Standarisasi Nas. 17272020*, no. 8, pp. 1–336, 2020.
- [2] S. S. Rao, *Mechanical Vibration*, Fifth Edit. University of miami: Prentice Hall, 2011.
- [3] T. M. Murray, D. E. Allen, and E. E. Ungar, "Floor vibrations due to human activity," *Steel Des. Guid.*

- Ser. 11*, vol. D811, no. 10M797, 2003.
- [4] A. Smith, S. Hicks, and P. Devine, *Design of Floors for Vibration: (Revised Edition, February 2009)*, no. February. 2009.
- [5] M. A. Morib, "Peningkatan Frekuensi Alami Struktur Dengan Variasi Penempatan Dinding Geser," *Ranc. Bangunan Tek. Sipil*, vol. 2, no. 1, pp. 44–51, 2018.
- [6] A. W. Leissa and M. . Qatu, *Vibrations of Continuous Systems*, vol. 4. 2011.
- [7] Tunngga Bimhadi Karyasa, *Dasar- dasar Getaran Mekanis*. Yogyakarta: Andi Yogyakarta, 2011. [Online]. Available: [https://ftp.idu.ac.id/wp-content/uploads/ebook/tdg/ADVANCED ENGINE TECHNOLOGY AND PERFORMANCE/209524975-1601-Dasar-dasar-Getaran-Mekanis-Autosaved-pdf.pdf](https://ftp.idu.ac.id/wp-content/uploads/ebook/tdg/ADVANCED_ENGINE_TECHNOLOGY_AND_PERFORMANCE/209524975-1601-Dasar-dasar-Getaran-Mekanis-Autosaved-pdf.pdf)
- [8] Y. Zheng, Y. Lai, G. Lin, and C. Lin, "Reduction of Floor Vibration Due to Human Activity by Multiple Tuned Mass Dampers," *Adv. Struct. Eng. Machanics*, p. 13, 2017.
- [9] D. E. Allen and T. M. Murray, "Design criterion for vibrations due to walking," *Am. Inst. Steel Constr.*, vol. 30, no. 93, pp. 117–129, 1993.
- [10] ISO 2631-2, "Mechanical vibration and shock-Evaluation of human exposure to whole-body vibration-Part 1: General requirements Vibrations et chocs mkaniques-ivaluation de /' exposition des individus A des vibrations globaies du corps-Partie 7: Exigences g&Wales," 2022.
- [11] C. P. R. Mentari, F. Alami, and S. Sebayang, "Studi ketebalan minimum pelat beton bertulang menurut SNI 2847:2019 terhadap kenyamanan manusia," *REKAYASA J. Ilm. Fak. Tek. Univ. Lampung*, vol. 26, no. 2, pp. 34–39, 2022.
- [12] D. C. Rimaza and D. R. Wiyono, "Pengaruh Getaran pada Struktur Bangunan Satu Tingkat Akibat Gerakan Manusia," *J. Tek. Sipil*, vol. 10, no. 2, pp. 120–142, 2019, doi: 10.28932/jts.v10i2.1388.
- [13] I. Saidi, N. Haritos, E. F. Gad, and J. L. Wilson, "Floor vibrations due to human excitation-damping perspective," *Earthq. Eng. Aust.*, no. November, pp. 257–264, 2006.
- [14] J. B. Muda, B. Supriyadi, M. Muslikh, and S. Siswosukarto, "Tinjauan Perilaku Dinamik Balok T dengan Perkuatan CFRP Jenis Wrap (Studi Eksperimental, Balok Beton Bertulang)," *Din. Tek. Sipil Maj. Ilm. Tek. Sipil*, vol. 13, no. 2, pp. 60–70, 2020, doi: 10.23917/dts.v13i2.13056.
- [15] F. Picauly, H. Priyosulistyo, B. Suhendro, and A. Triwiyono, "Influence of Vibration of Human Activity Upon a Simple Supported Slab with Tuned Mass Damper (TMD) and Fiber Reinforced Rubber (FRR) Absorber," *Procedia Eng.*, vol. 171, pp. 1186–1193, 2017, doi: 10.1016/j.proeng.2017.01.486.
- [16] C. B. Bachroni, "Penanggulangan Getaran Pada Pelat Lantai Beton Bertulang," *J. Permukim.*, vol. 10, no. 1, pp. 1–10, 2015.
- [17] S. J. F. Sembiring, F. Alami, and M. Helmi, "Kajian Permasalahan Getaran pada Pelat dan Balok Beton Bertulang diGedung E Fakultas Teknik Universitas Lampung," *Jrssi*, vol. 8, no. 2, pp. 357–366, 2020.
- [18] D. T. Kusuma, "Fast Fourier Transform (FFT) Dalam Transformasi Sinyal Frekuensi Suara Sebagai Upaya Perolehan Average Energy (AE) Musik," *Petir*, vol. 14, no. 1, pp. 28–35, 2020, doi: 10.33322/petir.v14i1.1022.
- [19] R. Y. Sipasulta, A. S. M. Lumenta, and S. R. U. A. Sompie, "Simulasi Sistem Pengacak Sinyal Dengan Metode Fft (Fast Fourier Transform)," *E-Journal Tek. Elektro Dan Komput.*, vol. 3, no. 2, pp. 1–9, 2014.
- [20] D. L. Saraswati, "Penggunaan Logger Pro Untuk Analisis Gerak," *Fakt. Exacta*, vol. 9, no. 2, pp. 119–124, 2016.
- [21] H. Mazhar, F. A. Najam, L. Ahmed, and H. Z. Akram, *Nonlinear Modelling and Analysis of RC Buildings using ETABS (v 2016 and onwards)*. 2021.
- [22] A. L. Wijaya, F. Alami, and R. Widyawati, "Analisis kelayakan struktur baja bangunan pabrik terhadap getaran mesin," *REKAYASA J. Ilm. Fak. Tek. Univ. Lampung*, vol. 26, no. April, pp. 9–13, 2022.

Halaman ini sengaja dikosongkan