

## Digitalisasi evaluasi dan perbaikan pelat lantai (integrasi uji non-destruktif, core drill, dan simulasi numerik)

Muhammad Zakki Rizal Hidayat<sup>1</sup>, Muhammad Irfan Marasabessy<sup>1,2\*</sup>, Wahyu Nur Rohman<sup>1</sup>,  
Muhamad Fadlan Alhamid<sup>1,2</sup>, Nufrizal Faried Hanafi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>PT. Pola Data Consultant, Sleman Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Sleman, Indonesia

### Article Info

Available online

### Keywords:

Dynamic vibration analysis  
Non-destructive test  
Concrete quality evaluation  
Structural repair strategies

### Abstract

*This study investigates floor slab vibration issues at a university in East Java, Indonesia, through a combination of non-destructive (Schmidt Hammer and Ultrasonic Pulse Velocity), semi-destructive (core drill), and numerical simulations using ETABS. Three scenarios were analyzed: (1) adequate concrete strength and thickness according to design documents, (2) low concrete quality but sufficient thickness, and (3) low concrete quality and inadequate thickness. The results revealed deficiencies in concrete quality and slab thickness, resulting in low fundamental frequency and excessive deflection beyond comfort standards. Two repair strategies were proposed: (1) increasing slab thickness from 100 mm to 160 mm and (2) adding IWF 300x150 steel beams. Simulations demonstrated that slab thickening is more effective in reducing vibrations. This research highlights the importance of vibration analysis for occupant comfort and structural safety, contributing to optimizing design and repair strategies in civil engineering and building maintenance.*

### Corresponding Author:

M. Irfan Marasabessy  
irfanmarassy@uii.ac.id

Copyright © 2025 Universitas Islam Indonesia  
All rights reserved

### Pendahuluan

#### Latar belakang

Seiring dengan pesatnya perkembangan industri konstruksi, kualitas dan keandalan struktur bangunan menjadi perhatian utama, khususnya pada bangunan yang telah beroperasi. Data statistik konstruksi tahun 2022 menunjukkan bahwa peningkatan pembangunan gedung komersial dan institusional mencapai 8.42% per tahun, lebih tinggi dari tahun sebelumnya yaitu sebesar 7.91% (Badan Pusat Statistik, 2023). Data ini menandakan kebutuhan akan struktur yang aman dan nyaman semakin mendesak.

Salah satu tantangan yang signifikan adalah respons dinamis struktur terhadap getaran, yang dapat mempengaruhi kenyamanan

penghuni sekaligus menurunkan daya tahan bangunan dalam jangka panjang. Getaran berlebihan pada pelat lantai dan elemen struktur lainnya dapat menimbulkan berbagai masalah, mulai dari kerusakan mikro pada beton hingga gangguan kenyamanan penghuni (Rimaza & Wiyono 2019; Alami dkk., 2019). Salah satu contoh kasus adalah gedung perkuliahan di daerah Jawa Timur yang mengalami keluhan penghuni akibat getaran pelat lantai, menunjukkan pentingnya evaluasi yang tepat terhadap respons dinamis struktur.

Evaluasi getaran pada struktur bangunan yang telah beroperasi menjadi kunci untuk memastikan bahwa bangunan tetap aman dan nyaman digunakan. Getaran tersebut dapat dievaluasi melalui data terkait mutu beton,

kekakuan struktur, serta parameter dinamis lainnya yang memberikan gambaran menyeluruh mengenai respons struktur terhadap beban serta aktivitas penghuni. Salah satu metode yang digunakan untuk memantau kondisi ini adalah pengujian non-destruktif dan semi-destruktif (*core drilling*). Metode ini mampu memberikan informasi penting tentang kualitas beton dan integritas struktur tanpa merusak elemen struktur (International Atomic Energy Agency, 2002).

Kombinasi data dari pengujian non-destruktif dan semi-destruktif dapat digunakan untuk menggambarkan kualitas, kekuatan, dan ketahanan beton (Kumavat dkk., 2021). Data tersebut memungkinkan pemahaman lebih mendalam tentang dinamika getaran yang terjadi pada pelat lantai gedung melalui analisis yang komprehensif menggunakan *software* ETABS.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kondisi pelat lantai pada salah satu gedung kuliah di daerah Jawa Timur dengan menggunakan kombinasi pengujian non-destruktif, pengujian sampel beton inti, serta analisis respons dinamis pelat gedung melalui simulasi menggunakan *software* ETABS. Hasil penelitian ini tidak hanya memberikan rekomendasi teknis untuk meningkatkan kenyamanan penghuni, tetapi juga bertujuan untuk mencegah potensi kerusakan lebih lanjut yang dapat membahayakan keselamatan penghuni dan menurunkan kinerja bangunan dalam jangka panjang. Dengan urgensi yang tinggi, penelitian ini mendukung pengelolaan dan perawatan struktur bangunan, sekaligus menjamin keberlanjutan fungsi bangunan dari sisi teknis, sosial, dan ekonomi.

### **Tujuan penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kondisi pelat lantai pada bangunan gedung perkuliahan yang di daerah Jawa Timur, dengan menggunakan uji non-destruktif, uji sampel beton inti, serta menganalisis getaran pelat melalui simulasi beban dinamik pada *software* ETABS. Hasil evaluasi ini dapat memberikan gambaran kondisi eksisting dan

solusi rekayasa struktur untuk masalah getaran pada pelat lantai bangunan eksisting.

### **Landasan Teori**

#### ***Uji Non-Destruktif: Schmidt Rebound Hammer Test***

*Schmidt Rebound Hammer Test* merupakan metode pengujian non-destruktif yang digunakan untuk mengestimasi kuat tekan beton secara cepat dan praktis. Prinsip kerja alat ini adalah dengan memantulkan massa pegas yang ditekan ke permukaan beton. Tingkat pantulan (*rebound number*) akan menunjukkan kekerasan permukaan beton, yang kemudian dikorelasikan dengan kuat tekan beton (ASTM C805/C805M, 2018).

Nilai kuat tekan beton yang diperoleh berdasarkan *schmidt rebound hammer test* ini tidak dapat sepenuhnya digunakan, karena indeks pantul rerata dan kekuatan tekan beton adalah variabel yang bergantung pada banyak faktor dan tidak dapat dikorelasikan dengan hanya satu fungsi tunggal (Kumavat dkk., 2021). Sehingga penentuan kuat tekan berdasarkan metode ini harus diverifikasi dengan pengujian sampel beton inti dan/atau dibandingkan dengan menggunakan metode pengujian non-destruktif lainnya.

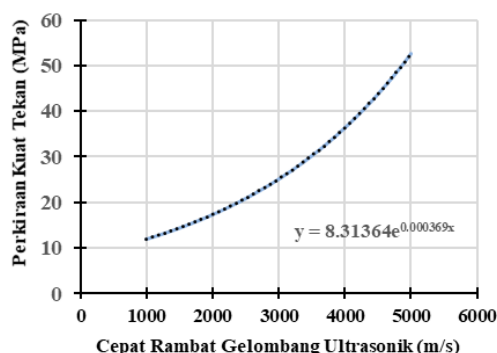
#### ***Uji Non-Destruktif: Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)***

Metode *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) adalah alat yang berfungsi untuk mengukur kecepatan gelombang ultrasonik yang melewati beton. Gelombang ini dikirimkan oleh transduser pemancar dan diterima oleh transduser penerima setelah melewati material beton (International Atomic Energy Agency, 2002). Kecepatan gelombang ultrasonik yang diukur berkaitan erat dengan kepadatan dan kekuatan beton. Semakin tinggi kecepatan gelombang, semakin baik kualitas beton tersebut. Klasifikasi kualitas beton berdasarkan uji UPV dapat terlihat seperti sebagaimana pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi Kualitas Beton berdasarkan Cepat Rambat Gelombang (International Atomic Energy Agency, 2002)

Cepat Rambat Gelombang Ultrasonik (km/s)	Kualitas Beton
>4.5	Sangat Baik
3.5-4.5	Baik
3.0-3.5	Meragukan
2.0-3.0	Buruk
<2.0	Sangat Buruk

Terdapat hubungan antara data cepat rambat gelombang yang diuji menggunakan metode UPV dan mutu beton (Ridho & Khoeri, 2015). Kurva konversi cepat rambat gelombang dan prediksi kuat tekan beton dapat terlihat pada Gambar 1.



\*Berdasarkan pengujian 500 sampel beton

Gambar 1. Kurva hubungan perkiraan kuat tekan beton dan cepat rambat gelombang (Ridho & Khoeri, 2015).

Prediksi kuat tekan berdasarkan korelasi data hasil pengujian UPV memberikan keakuratan yang cukup tinggi dibandingkan dengan *hammer test* (Hanif dkk., 2024).

### Uji Semi-Destruktif: Core Drill & Uji Tekan

Metoda *core drill* adalah suatu metoda pengambilan sampel beton pada suatu struktur bangunan. Sampel yang diambil (bentuk silinder) disebut dengan beton inti yang selanjutnya dibawa ke laboratorium untuk dilakukan uji tekan. Beton inti harus diuji dengan waktu antara 48 jam hingga 7 hari setelah coring, kecuali tindakan lain

diperbolehkan oleh perencana ahli bersertifikat (SNI 2847:2019).

### Frekuensi Alami pada Pelat Lantai

Frekuensi alami adalah frekuensi di mana suatu benda atau struktur akan bergetar ketika dipindahkan dan kemudian segera dilepaskan. Keadaan getaran ini disebut sebagai getaran bebas. Frekuensi alami terendah atau "fundamental" adalah yang paling diperhatikan (Murray dkk., 2020).

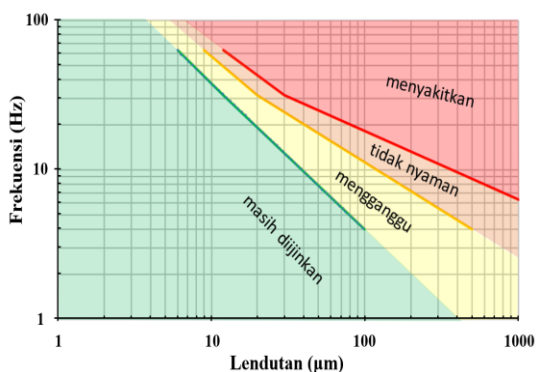
Frekuensi alami dapat ditentukan melalui berbagai metode, termasuk analisis modal dan pengujian eksperimental. Variabel yang mempengaruhi frekuensi alami dari sistem lantai adalah panjangnya bentang, kekakuan, fungsi ruang, material, dan juga umur bangunan. Frekuensi alami juga dapat menurun nilainya ketika diberikan getaran secara berkala (Sembiring dkk., 2024).

### Resonansi pada Pelat Lantai

Resonansi terjadi ketika frekuensi eksitasi eksternal (seperti getaran dari aktivitas manusia, peralatan, atau beban dinamis lainnya) mendekati atau sama dengan frekuensi alami pelat lantai. Tingginya frekuensi eksitasi eksternal yang terjadi pada sistem lantai dapat disebabkan oleh kegiatan berjalan, berlari, dan *jumping exercises* seperti halnya senam aerobik (Naeim, 1991). Ketika peristiwa resonansi terjadi, amplitudo getaran dapat meningkat secara signifikan, yang dapat menyebabkan ketidaknyamanan bagi penghuni bangunan dan bahkan berpotensi menjadi penyebab kerusakan elemen struktural (Alami dkk., 2019).

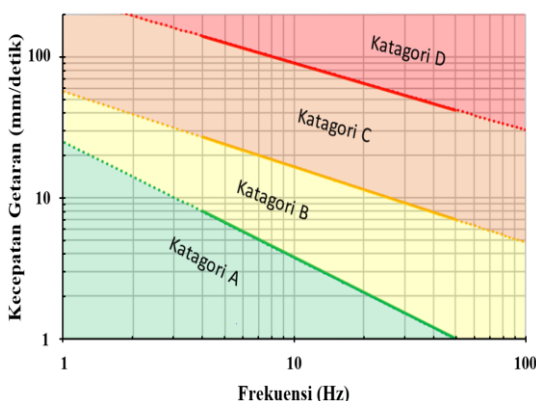
### Standar dan Evaluasi Getaran pada Pelat Lantai Bangunan Gedung

Standar getaran yang terjadi pada pelat lantai adalah tidak boleh merusak bangunan, tidak boleh mengganggu kenyamanan, dan tidak boleh mengganggu kesehatan manusia (Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 49, 1996). Baku tingkat getaran mekanik untuk kenyamanan dan kesehatan dapat terlihat seperti sebagaimana pada Gambar 2.



Gambar 2. Baku tingkat getaran untuk kenyamanan dan kesehatan (KMNLH No. 49)

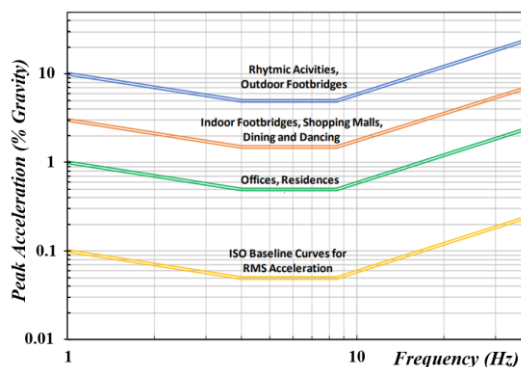
Selain pertimbangan kenyamanan dan kesehatan manusia, terdapat juga baku tingkat getaran untuk dampak kerusakan bangunan akibat getaran dapat terlihat seperti sebagaimana pada Gambar 3.



Gambar 3. Baku tingkat getaran berdasarkan dampak kerusakan (KMNLH No. 49)

Kategori A menunjukkan kondisi yang tidak menimbulkan kerusakan. Kategori B mengindikasikan kemungkinan adanya retakan pada plesteran. Kategori C mencerminkan potensi kerusakan pada komponen struktur dinding pemikul beban. Sedangkan kategori D mengacu pada kondisi di mana dinding pemikul beban mengalami kerusakan (KMNLH No. 49, 1996).

Rekomendasi berdasarkan standar ISO 2631-2 untuk frekuensi dan puncak percepatan yang memenuhi kenyamanan aktivitas manusia dapat terlihat pada Gambar 4.

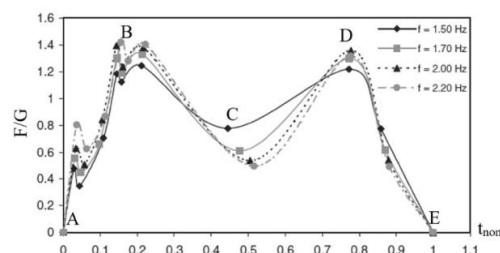


Gambar 4. Frekuensi getar dan puncak percepatan untuk kenyamanan berdasarkan aktivitas manusia (ISO 2631-2, 1989)

### Beban Dinamik akibat Pejalan Kaki

Beban dinamik akibat pejalan kaki memiliki tiga komponen, yaitu komponen vertikal, horizontal-longitudinal, dan horizontal-lateral. Analisis getaran lantai akibat langkah kaki hanya fokus pada komponen vertikal, karena memiliki magnitude terbesar dan lantai cenderung lebih fleksibel secara vertikal (Cai et dkk., 2020).

Beban vertikal dari satu langkah kaki memiliki bentuk seperti huruf "M" (Butz dkk., 2006). Kurva *time-history* tipikal dari satu langkah kaki dapat terlihat seperti sebagaimana pada Gambar 5.



Gambar 5. Kurva *time-history* tipikal untuk langkah kaki (Butz dkk., 2006)

### Metodologi

#### Pengujian Lapangan dan Laboratorium

Uji non-destruktif *schmidt hammer test* dan *ultrasonic pulse velocity* (UPV) dilakukan untuk mengidentifikasi gambaran kualitas beton dan mendapatkan perkiraan kuat tekan berdasarkan metode non-destruktif *schmidt hammer test* dan UPV. Pengambilan sampel



### Hasil dan Pembahasan

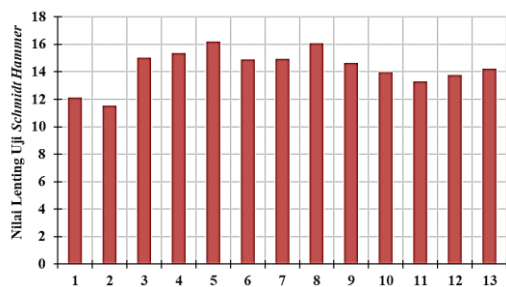
#### Pelaksanaan Uji Non-Destruktif: Schmidt Rebound Hammer Test

Uji *schmidt rebound hammer* dilakukan pada 14 titik di lokasi yang acak dan mewakili elemen struktur lantai dan balok pada gedung. Pelaksanaan uji *schmidt hammer rebound* yang dilakukan pada penelitian ini dapat terlihat seperti pada Gambar 9.

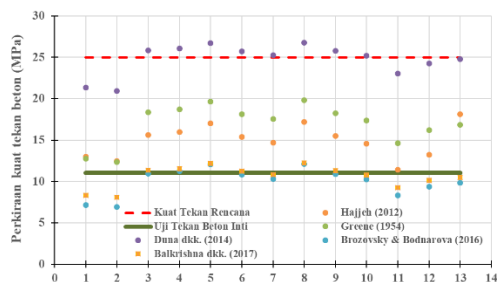


Gambar 9. Pelaksanaan uji non-destruktif *schmidt rebound hammer*

Hasil uji *hammer* didapatkan nilai rerata lenting pada setiap titik yang diuji seperti sebagaimana terlihat pada Gambar 10, yang selanjutnya dapat didapatkan gambaran perkiraan kuat tekan beton berdasarkan nilai-nilai lenting tersebut seperti terlihat pada Gambar 11.



Gambar 10. Pelaksanaan uji non-destruktif *schmidt rebound hammer*



Gambar 11. Perkiraan kuat tekan beton berdasarkan uji *schmidt rebound hammer*

Perkiraan kuat tekan rerata, standar deviasi, serta koefisien variasi dari masing-masing persamaan dari pengujian ini dapat terlihat seperti sebagaimana pada Tabel 2.

Tabel 2. Perkiraan kuat tekan, standar deviasi, dan nilai koefisien variasi hasil *hammer test*

Persamaan Konversi Nilai Lenting	Kuat Tekan Rerata (MPa)	Standar Deviasi (MPa)	Koefisien Variasi
Hajjeh (2012)	14.94	1.98	13.27
Greene (1954)	16.97	2.40	14.14
Duna dkk. (2014)	24.74	1.89	7.63
Brozovsky & Bodnarova (2016)	10.02	1.67	16.63
Balkrishna dkk. (2017)	10.59	1.33	12.55

Berdasarkan hasil uji *hammer test*, koefisien variasi didapatkan lebih dari 6% dari semua persamaan, maka tingkat keseragaman beton dapat dinilai kurang baik (ACI 214R-02). Sehingga diperlukan pengambilan sampel beton inti (*core drill*), yang kemudian dilakukan uji kuat tekan pada sampel beton inti tersebut (SNI 6680:2016).

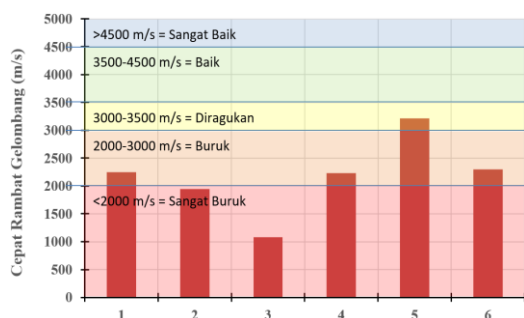
#### Pelaksanaan Uji Non-Destruktif: Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)

Uji UPV dilakukan pada 6 titik di lokasi yang acak dan mewakili elemen struktur lantai dan pada gedung. Pelaksanaan uji UPV yang dilakukan pada penelitian ini dapat terlihat seperti pada Gambar 12.



Gambar 12. Pelaksanaan uji non-destruktif *ultrasonic pulse velocity*

Hasil uji UPV didapatkan nilai cepat rambat gelombang dari setiap titik yang diuji dan penilaian kondisi beton seperti terlihat pada Gambar 13 berikut ini.



Gambar 13. Hasil uji *ultrasonic pulse velocity* (UPV) pada struktur balok dan pelat lantai

Berdasarkan hasil penilaian kualitas beton melalui uji UPV, diperoleh 1 titik dengan kondisi diragukan, 3 titik dengan kondisi buruk, dan 2 titik dengan kondisi sangat buruk. Hal ini cukup relevan dengan nilai koefisien variasi yang diperoleh melalui *hammer test*, bahwa kondisi dan kualitas hasil pengecoran sangat diragukan.

Nilai cepat rambat gelombang yang diperoleh melalui uji UPV dapat digunakan untuk memperkirakan kuat tekan beton melalui persamaan Ridho & Khoeri (2015). Perkiraan kuat tekan berdasarkan hasil uji UPV dapat terlihat seperti sebagaimana pada Tabel 3.

Tabel 3. Perkiraan kuat tekan berdasarkan uji *ultrasonic pulse velocity* (UPV)

No.	Cepat Rambat Gelombang (m/s)	Perkiraan Kuat Tekan (Mpa)
1	2247.33	19.05
2	1943.67	17.03
3	1083.33	12.40
4	2227.00	18.91
5	3209.67	27.17
6	2298.00	19.41
Rerata		19.00

Perkiraan kuat tekan berdasarkan uji UPV didapatkan rerata sebesar 19 MPa. Nilai ini masih dibawah kuat tekan rencana, yaitu sebesar 25 MPa. Hal ini menguatkan indikasi bahwa mutu beton yang telah terpasang pada struktur gedung tidak sesuai dengan apa yang telah disyaratkan pada saat perencanaan.

**Pelaksanaan Uji Semi-Destruktif: Core Drill & Uji Tekan Beton Inti**

Pelaksanaan pengambilan sampel beton inti (*core drill*) dilakukan pada 2 titik pada elemen struktur pelat. Proses pengambilan sampel beton inti dapat terlihat seperti sebagaimana pada Gambar 14 dan Gambar 15.



Gambar 14. Hasil pengambilan sampel beton inti (*core drill*) elemen struktur pelat



Gambar 15. Proses pengambilan sampel beton inti (*core drill*) pada elemen struktur pelat

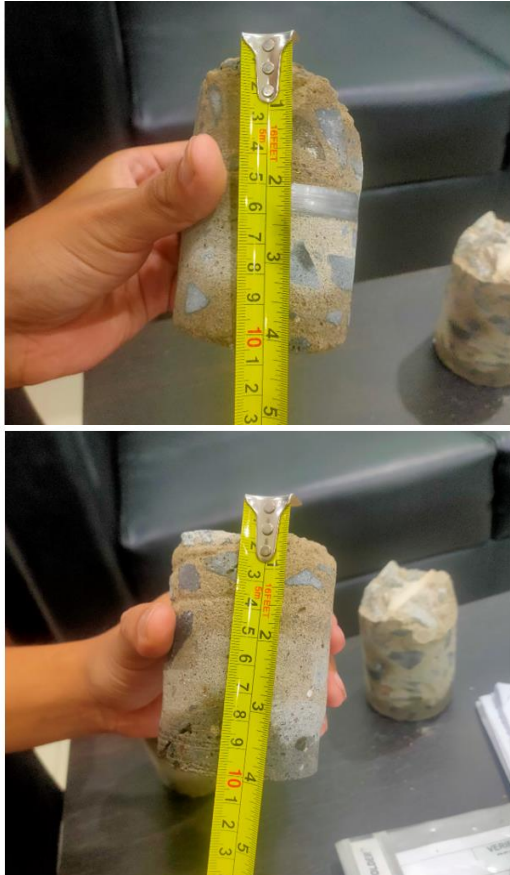
Uji tekan dilakukan pada sampel beton inti yang telah diambil, sehingga didapatkan hasil seperti sebagaimana terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil uji tekan pada sampel beton inti

Kode Benda Uji	PLAT 1	PLAT 2
Diameter (mm)	68.40	68.20
Tinggi (mm)	70.80	77.60
Luas Benda Uji (mm <sup>2</sup> )	3672.67	3651.22
Beban Maksimum (kN)	41.54	41.33
Kuat Desak (MPa)	11.31	11.05
Kuat Desak Terkoreksi (MPa)	11.18	10.88

Berdasarkan hasil kuat tekan beton inti, kuat tekan pada pelat didapatkan sebesar 11.18

MPa dan 10.88 MPa. Nilai ini relatif jauh kecil jika dibandingkan dengan kuat tekan yang disyaratkan, yaitu sebesar 25 MPa.



Gambar 16. Ketebalan pelat hasil *core drill*

Ketebalan pelat terindikasi tidak sesuai dengan rencana. Ketebalan pelat hasil *core drill* didapatkan hanya sekitar 10 cm seperti sebagaimana terlihat pada Gambar 16.

### **Pemodelan dan Pembebanan pada Struktur Pelat Lantai Eksisting**

Hasil uji non-destruktif dan uji semi-destruktif yang dilakukan menunjukkan indikasi kuat bahwa struktur eksisting memiliki kualitas beton yang relatif buruk serta tebal pelat tidak sesuai. Pemodelan struktur dilakukan dalam 3 (tiga) kemungkinan kondisi, yaitu:

1. Kondisi 1: mutu beton dan tebal pelat sesuai rencana, dimana mutu beton adalah 25 MPa dan tebal pelat 140 mm,
2. Kondisi 2: mutu beton adalah 11 MPa dan tebal pelat masih 140 mm,

3. Kondisi 3: mutu beton 11 MPa dengan tebal pelat 100 mm.

Masing-masing model menggunakan pembebanan yang sama, yaitu beban mati akibat berat sendiri, beban mati tambahan yang digunakan konservatif sebesar 2 kN/m<sup>2</sup>, serta beban dinamik akibat manusia berjalan normal.

### **Simulasi Beban Manusia Berjalan Normal pada program ETABS**

Simulasi beban manusia berjalan normal dilakukan menggunakan fungsi *time-history* pada program ETABS, dengan kecepatan langkah kaki dalam kondisi berjalan normal konservatif digunakan sebesar 0.45 detik. Beban langkah kaki diinput pada masing-masing titik dengan dibuatkan *load patern* masing-masing.

*Load case* khusus untuk simulasi beban dinamik dapat dibuat dengan mengatur *function* dengan fungsi *time-history* dari gerakan langkah kaki yang telah didefinisikan sebelumnya. Kolom *arrival time* (dapat dimunculkan dengan mencentang *check box* "Advanced") diatur dengan penambahan 0.5 detik dari setiap langkahnya.

### **Frekuensi Fundamental pada Struktur Pelat Lantai Eksisting**

Frekuensi fundamental pelat eksisting dalam 3 (tiga) kondisi dapat terlihat seperti sebagaimana pada Tabel 5.

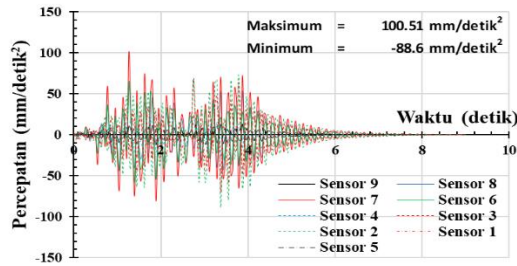
Tabel 5. Frekuensi fundamental pelat eksisting

Keterangan	Frekuensi Fundamental (Hz)
Kondisi 1	5.64
Kondisi 2	4.59
Kondisi 3	4.31

Berdasarkan hasil analisis, penurunan frekuensi fundamental paling signifikan dapat terjadi pada kondisi dimana tidak tercapainya mutu beton yang semula 25 MPa menjadi hanya sekitar 11 MPa. Frekuensi fundamental dapat lebih kecil jika ketebalan semakin kecil.

**Analisis dan Evaluasi Getaran Pelat terhadap Kenyamanan dan Kesehatan**

Evaluasi getaran terhadap kenyamanan dan kesehatan dapat teridentifikasi melalui lendutan. Gambar 17 menunjukkan rekaman lendutan pelat (kondisi 3) akibat beban dinamik berjalan normal selama 10 detik.



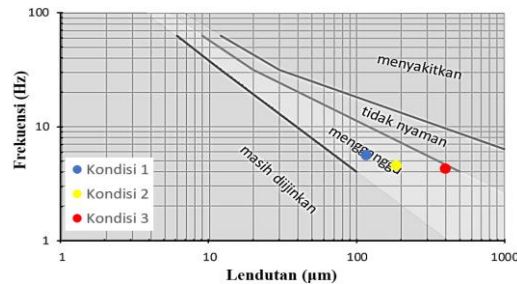
Gambar 17. Rekaman lendutan pelat (kondisi 3) akibat beban dinamik langkah berjalan normal

Lendutan maksimum dan frekuensi fundamental pelat lantai pada kondisi 3 menunjukkan tingkat getaran pada kategori "menggangu" dan paling mendekati "tidak nyaman". Rekapitulasi nilai lendutan maksimum pada setiap kondisi dapat terlihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Frekuensi fundamental dan lendutan maksimum pada setiap masing-masing kondisi

Keterangan	Frekuensi Fundamental (Hz)	Lendutan (µm)
Kondisi 1	5.64	116
Kondisi 2	4.59	185
Kondisi 3	4.31	397

Evaluasi getaran terhadap kenyamanan dan kesehatan pada setiap kondisi dapat terlihat pada Gambar 18.

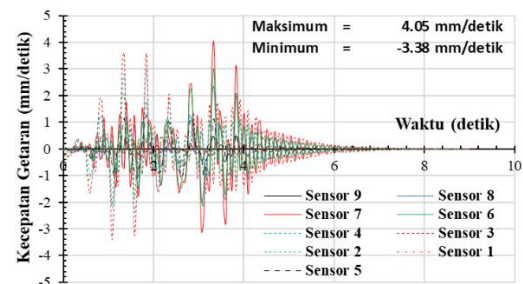


Gambar 18. Hasil evaluasi getaran terhadap standar kenyamanan dan kesehatan manusia

Hasil simulasi menunjukkan bahwa pelat pada semua kondisi adalah dalam kategori "menggangu". Kondisi 3 adalah yang paling parah dan mendekati kategori "tidak nyaman".

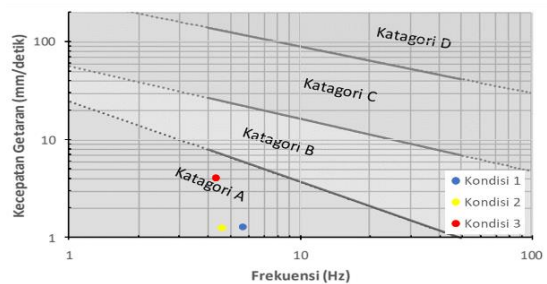
**Analisis dan Evaluasi Getaran Pelat terhadap Dampak Kerusakan**

Evaluasi getaran terhadap dampak kerusakan dapat teridentifikasi melalui kecepatan getaran. Gambar 19 menunjukkan rekaman kecepatan getaran pelat (kondisi 3) akibat beban dinamik berjalan normal.



Gambar 19. Rekaman kecepatan getaran pelat (kondisi 3) akibat beban dinamik berjalan normal

Hasil simulasi menunjukkan bahwa kecepatan getaran yang terjadi tidak memiliki dampak pada kerusakan. Seperti sebagaimana terlihat pada Gambar 20, baku tingkat getaran terhadap dampak kerusakan pada semua kondisi pelat termasuk dalam kategori A (tidak menimbulkan kerusakan).

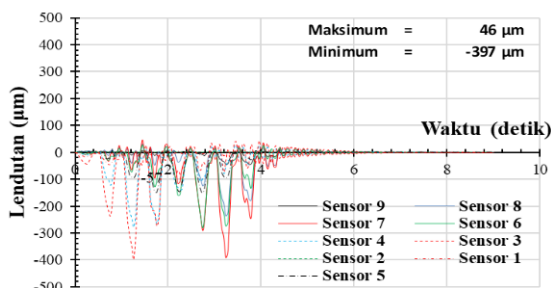


Gambar 20. Hasil evaluasi getaran terhadap dampak kerusakan

**Analisis dan Evaluasi Getaran Pelat terhadap Kenyamanan Aktivitas Manusia**

Evaluasi getaran terhadap standar kenyamanan aktivitas manusia dapat teridentifikasi melalui percepatan puncak yang terjadi pada pelat. Gambar 21

menunjukkan rekaman percepatan yang diterima oleh masing-masing sensor pada pelat (kondisi 3) akibat beban dinamik berjalan normal.



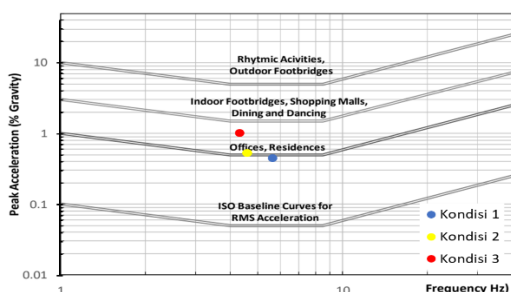
Gambar 21. Rekaman percepatan pada pelat (kondisi 3) akibat beban dinamik berjalan normal

Berdasarkan hasil analisis pada kondisi 3, percepatan yang terjadi relatif tinggi (lebih dari 1% percepatan gravitasi). Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi tersebut, pengguna gedung akan merasa tidak nyaman dan aktivitas pengguna gedung dapat terganggu. Rekapitulasi nilai percepatan pada masing-masing kondisi dapat terlihat seperti sebagaimana pada Tabel 7.

Tabel 7. Frekuensi dan percepatan puncak pelat eksisting pada masing-masing kondisi

Keterangan	Frekuensi (Hz)	Percepatan Puncak (mm/detik <sup>2</sup> )	Percepatan Puncak (%Gravitasi)
Kondisi 1	5.64	44.67	0.46
Kondisi 2	4.59	52.45	0.53
Kondisi 3	4.31	100.51	1.02

Evaluasi getaran terhadap kenyamanan aktivitas manusia pada masing-masing kondisi dapat terlihat pada Gambar 22.



Gambar 22. Hasil evaluasi getaran terhadap standar kenyamanan aktivitas manusia

Hasil simulasi menunjukkan bahwa pelat pada kondisi 2 dan 3 telah melewati batas standar kenyamanan aktivitas manusia, sedangkan kondisi 1 masih memenuhi standar kenyamanan aktivitas manusia.

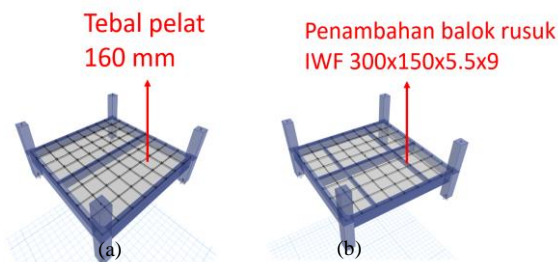
### Solusi Rekayasa Struktur Pelat Lantai untuk Masalah Getaran

Solusi rekayasa struktur pelat lantai untuk masalah getaran dilakukan berdasarkan kondisi 3 dengan: (1) penambahan tebal pelat lantai dari 100 mm menjadi 160 mm (penambahan 60 mm) dan (2) penambahan balok anak baja profil IWF 300x150 sebagai balok rusuk.

Skema rekayasa struktur dapat terlihat pada Gambar 23, sedangkan frekuensi fundamental pada skema tersebut terlihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Frekuensi fundamental pada masing-masing skema rekayasa struktur terhadap getaran

Keterangan	Frekuensi (Hz)
Rekayasa Penambahan Tebal Pelat (menjadi 160 mm)	4.655
Rekayasa Penambahan Balok IWF 300x150	5.145

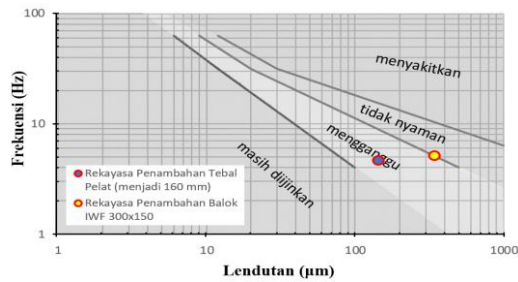


Gambar 23. Skema rekayasa (a) penambahan tebal pelat dan (b) penambahan balok rusuk dengan baja profil IWF 300x150x6.5x9

Hasil analisis frekuensi fundamental dengan skema penambahan balok IWF 300x150 relatif lebih tinggi daripada skema penembalan pelat. Semakin tinggi nilai frekuensi fundamental, maka semakin kecil kemungkinan resonansi terjadi (Naeim, 1991).

**Evaluasi Skema Rekayasa Struktur terhadap Kenyamanan dan Kesehatan Manusia**

Evaluasi getaran terhadap kenyamanan dan kesehatan pada skema rekayasa perkuatan pelat dapat terlihat seperti sebagaimana pada Gambar 24.

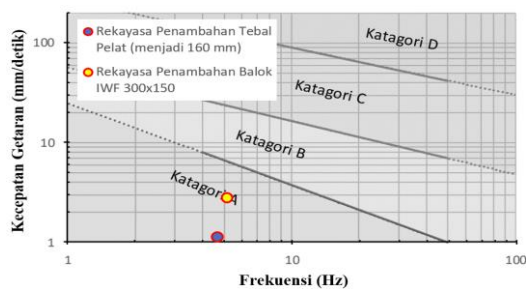


Gambar 23. Hasil evaluasi getaran terhadap standar kenyamanan dan kesehatan pada skema rekayasa perkuatan pelat

Hasil simulasi menunjukkan bahwa skema penambahan tebal pelat lebih unggul dalam tinjauan getaran terhadap kenyamanan dan kesehatan manusia. Sebaliknya, skema penambahan balok baja tidak menunjukkan pengaruh signifikan.

**Evaluasi Skema Rekayasa Struktur terhadap Dampak Kerusakan**

Evaluasi getaran terhadap dampak kerusakan pada skema rekayasa perkuatan pelat dapat terlihat seperti sebagaimana pada Gambar 24.

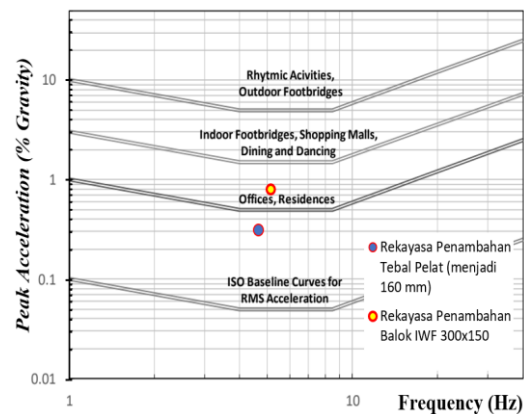


Gambar 24. Hasil evaluasi getaran terhadap dampak kerusakan pada skema rekayasa perkuatan pelat

Hasil simulasi menunjukkan bahwa kecepatan getaran pada kedua skema rekayasa perkuatan pelat masih dalam kondisi aman (tidak merusak). Kecepatan getaran pada skema rekayasa penebalan pelat relatif jauh lebih kecil (lebih aman).

**Evaluasi Rekayasa Struktur terhadap Kenyamanan Aktivitas Manusia**

Evaluasi getaran terhadap kenyamanan aktivitas manusia pada skema rekayasa perkuatan pelat dapat terlihat pada Gambar 25.



Gambar 25. Hasil evaluasi getaran terhadap dampak kerusakan pada skema rekayasa perkuatan pelat

Hasil simulasi menunjukkan bahwa skema penambahan tebal pelat dapat mengurangi percepatan puncak pada getaran sampai dengan titik kenyamanan terhadap aktivitas manusia.

**Kesimpulan dan Saran**

**Kesimpulan**

1. Hasil pengujian non-destruktif dan semi-destruktif menunjukkan bahwa terdapat indikasi tidak tercapainya mutu beton rencana,
2. Pengambilan sampel beton inti pada pelat menunjukkan bahwa terdapat adanya indikasi tidak sesuainya ketebalan pelat dengan rencana,
3. Analisis pada sistem pelat eksisting dilakukan terhadap 3 kondisi, yaitu: (1) mutu beton dan tebal pelat sesuai rencana, (2) mutu beton tidak sesuai tetapi tebal pelat masih sesuai, dan (3) mutu beton dan tebal pelat tidak sesuai rencana.
4. Getaran pelat eksisting pada ke-3 (tiga) kondisi adalah kategori “menggangu” terhadap kenyamanan dan kesehatan manusia, kondisi 3 adalah yang paling parah dan paling mendekati kategori “tidak

- nyaman” berdasarkan standar KMNLH No. 49.
5. Getaran pada pelat eksisting masih memenuhi standar aman terhadap baku getaran terhadap dampak kerusakan KMNLH No. 49.
  6. Percepatan puncak pada kondisi 1 masih dibawah batas yang diizinkan, tetapi kondisi 2 dan kondisi 3 tidak memenuhi syarat untuk kenyamanan aktivitas manusia berdasarkan standar ISO 2631-2.
  7. Skema rekayasa perkuatan penebalan pelat lebih unggul dari skema rekayasa perkuatan dengan penambahan balok rusuk baja profil IWF 300x150.

### Rekomendasi

1. Penelitian selanjutnya direkomendasikan dengan menggunakan model yang mempertimbangkan variasi beban dinamis lainnya.
2. Dapat dilakukan pengambilan sampel *core drill* yang lebih banyak dan dapat mewakili keseluruhan gedung.
3. Perlu dilakukan validasi eksperimental terhadap hasil simulasi digital untuk memastikan akurasi model.

### Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada PT. Pola Data Consultant, Universitas Islam Indonesia, serta semua pihak yang telah membantu penelitian ini. Terima kasih juga kepada semua rekan dan keluarga yang telah memberi dukungan selama penelitian ini.

### Daftar Pustaka

- Alami, F., Helmi, M., & Agustriana, V. (2019). Investigasi Dan Evaluasi Getaran Pada Pelat Beton Bertulang. SIMTEK 2019, 1(Illmu Teknik dan Kajian Multidisiplin Dalam Mitigasi Bencana Nasional), 1–10.
- ASTM C805/C805M. (2018). Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete. In American Society for Testing and Material. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/C0805>
- Badan Pusat Statistik. (2023). Konstruksi Dalam Angka 2023.
- Butz, C., Sedlacek, G., & Heinemeyer, C. (2006). Generalisation of criteria for floor vibrations for industrial, office, residential and public building and gymnastic halls. European Commission: Directorate-General for Research and Innovation.
- Cai, Y., Gong, G., Xia, J., He, J., & Hao, J. (2020). Simulations of human-induced floor vibrations considering walking overlap. SN Applied Sciences, 2(1), 1–15. <https://doi.org/10.1007>
- Hanif, A., Kurniawandy, A., & Yusa, M. (2024). Evaluasi Kuat Tekan Beton Menggunakan UPV Dan Hammer Test. Sainstek, 1, 0–5. <http://ejournal.sttp-yds.ac.id/>
- International Atomic Energy Agency. (2002). Guidebook on non-destructive testing of concrete structures. In Industrial Applications and Chemistry Section, IAEA. IAEA.
- ISO 2631-2. (1989). Evaluation of human exposure to whole-body vibration-part 2: Human exposure to continuous and shock-induced vibrations in buildings (1 to 80 Hz). In International Standards Organization, Geneva, Switzerland.
- Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 49. (1996). Baku Tingkat Getaran. Menteri Negara Lingkungan Hidup. <https://ppkl.menlhk.go.id>
- Kumavat, H. R., Chandak, N. R., & Patil, I. T. (2021). Factors influencing the performance of rebound hammer used for non-destructive testing of concrete members: A review. Case Studies in Construction Materials, 14, e00491. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00491>
- Murray, T. M., Allen, D. E., & Ungar, E. E. (2020). Chapter 12: Floor Vibrations due to Human Activity. In Structural Steel Design (pp. 759–794). <https://doi.org/10.1515/9781683923695-014>
- Naeim, F. (1991). Design Practice to Prevent Floor Vibrations. In Structural Steel Education Council Steel, Steel Tips. John A. Martin and Associates, Inc.
- Ridho, F., & Khoeri, H. (2015). Perbandingan Mutu Beton Hasil UPVT Metode Indirect Terhadap Mutu Beton Hasil Hammer Test dan Core Drill. Jurnal Konstruksia, 6(2), 25–39.
- Rimaza, D. C., & Wiyono, D. R. (2019). Pengaruh Getaran pada Struktur Bangunan Satu Tingkat Akibat Gerakan Manusia. Jurnal Teknik Sipil, 10(2), 120–142. <https://doi.org/10.28932>
- Sembiring, S. J. F., Isnaeni, M., Helmi, M., & Alami, F. (2024). Review Faktor Pengaruh Perubahan Frekuensi Alami Pada Struktur Bangunan. 9(2), 70–79.
- SNI 2847:2019. (2019). Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung. Badan Standarisasi Nasional. [www.bsn.go.id](http://www.bsn.go.id)