

**ANALISIS GETARAN MEKANIS PADA PELAT DAN BALOK DI AREA  
PARKIR GEDUNG BERTINGKAT  
(Studi Kasus: Mall Bumi Kedaton Bandar Lampung)**

**(Tesis)**

**Oleh:**

**SILSILA JANA FIRDASA SEMBIRING  
NPM. 2125011001**



**PROGRAM STUDI PASCASARJANA  
MAGISTER TEKNIK SIPIL  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2023**

## ABSTRAK

### ANALISIS GETARAN MEKANIS PADA PELAT DAN BALOK DI AREA PARKIR GEDUNG BERTINGKAT (Studi Kasus: Mall Bumi Kedaton Bandar Lampung)

Oleh:

SILSILA JANA FIRDASA SEMBIRING

Proses perencanaan pembangunan suatu gedung parkir mempertimbangkan beberapa kriteria seperti kekakuan, kelenturan, kestabilan, kekuatan dan keekonomisan agar bangunan tersebut aman. Selain kriteria tersebut, ada satu kriteria yang sering dikesampingkan dalam proses perencanaan infrastruktur yaitu kenyamanan, khususnya pada masalah getaran yang berdampak terhadap pengguna infrastruktur dapat memberikan tekanan terhadap rasa ketidaknyamanan/kekhawatiran kepada penggunanya. Penelitian ini difokuskan untuk mengetahui kenyamanan pada pelat dan balok sesuai dengan standar ISO 2631 tahun 2022. Pembebanan yang diterapkan pada penelitian ini yaitu saat mobil dalam keadaan diam dan bergetar. Kondisi yang diterapkan yaitu saat area parkir sepi dan ramai. Dua metode diterapkan dalam penelitian ini yaitu metode ekperimental yang menggunakan alat *Akselerometer*, *Hammer Test*, dan *Hardness Tester* dan metode numerik menggunakan ETABS vr. 20.

Hasil yang didapat dari penelitian ini yaitu penambahan beban kendaraan pada kondisi sepi maupun ramai dalam keadaan statis (diam) dan dinamis (bergerak) dapat menurunkan frekuensi alami pelat dan balok. Akselerasi pada pelat dan balok semakin tinggi seiring penambahan beban dinamis. Frekuensi alami pelat menurun signifikan saat dibebankan oleh 3 mobil yang bergetar. Pada metode eksperimen frekuensi alami pada pelat dan balok didapat sebesar 6,15 Hz dengan akselerasi  $0,01436 \text{ m/s}^2$ , sedangkan dalam penganalisisan menggunakan ETABS Vr. 20 frekuensi alami pelat dan balok didapat sebesar 5,98 Hz dan akselerasi  $0,018872 \text{ m/s}^2$ . Perbandingan hasil eksperimental dan numerik dari seluruh skenario yang ada sebesar 12%, sehingga analisis permodelan dengan ETABS vr. 20 dapat digunakan untuk perkuatan sebagai rekomendasi. Perkuatan dilakukan dengan penambahan kekakuan berupa IWF  $300 \times 150 \times 6,5$  (mm) searah x dan y. Perkuatan dengan arah y (bentang 5 m) lebih efektif dan efisien dibandingkan dengan arah x (bentang 8 m) karena dapat meningkatkan frekuensi alami pelat sebesar 58% dan menurunkan akselerasi sebesar 33%.

*Kata Kunci: Gedung Parkir Bertingkat., Getaran, Frekuensi Alami, Akselerasi, Perkuatan.*

## **ABSTRACT**

### ***MECHANICAL VIBRATION ANALYSIS OF PLATE AND BEAM IN PARKING AREA OF MULTI-STOREY BUILDING (Study Case: Mall Bumi Kedaton Bandar Lampung)***

**By:**

**SILSILA JANA FIRDASA SEMBIRING**

*The planning process of building a parking lot building considers several criteria such as rigidity, flexibility, stability, strength, and economy so that the building is safe. In addition to these criteria, there is one criterion that is overlooked in the infrastructure planning process that criterion is about comfort, especially on vibration issues that have an impact on infrastructure which can put pressure on a sense of discomfort/concern to its users. This research was focused on determining the comfort of plates and beams by ISO 2631 standard 2022. The loading was applied in this study when the cars were stationary and vibrating. The conditions applied when the parking area is quiet and crowded. Two methods were applied in this study, that were the experimental method using the Accelerometer, Hammer Test, and Hardness Tester tools and the numerical method using ETABS vr. 20.*

*The results obtained from this study are the addition of vehicle loads in quiet and crowded conditions in static (stationary) and dynamic (vibrating) can reduce the natural frequency of plates and beams. The acceleration of the plates and beams increases with the addition of dynamic loads. The natural frequency of the plate decreased significantly when it was loaded by 3 vibrating cars. In the experimental method, the natural frequency of the plates and beams was found to be 6,15 Hz with an acceleration of 0,01436 m/s<sup>2</sup>, while in the analysis using ETABS vr. 20 the natural frequency of plates and beams is obtained at 5,98 Hz and an acceleration of 0,018872 m/s<sup>2</sup>. The comparison of experimental and numerical results for all the scenarios was about 12%, so the modeling analysis with ETABS vr. 20 can be used for reinforcement as a recommendation. Reinforcement was carried out by adding stiffness in the form of IWF 300 x 150 x 6.5 (mm) in the x and y directions. Reinforcement with the y direction (5 m) 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%.*

**Keywords:** *Multi-storey Parking Building, Vibration, Natural Frequency, Acceleration, Reinforcement.*

**ANALISIS GETARAN MEKANIS PADA PELAT DAN BALOK DI AREA  
PARKIR GEDUNG BERTINGKAT  
(Studi Kasus: Mall Bumi Kedaton Bandar Lampung)**

**(Tesis)**

**Oleh:**

**SILSILA JANA FIRDASA SEMBIRING  
NPM. 2125011001**

**Tesis**

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar  
**MAGISTER TEKNIK**

**Pada**

Program Pascasarjana Magister Teknik  
Fakultas Teknik Universitas Lampung



**PROGRAM STUDI PASCASARJANA  
MAGISTER TEKNIK SIPIL  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2023**

Judul Tesis : **ANALISIS GETARAN MEKANIS PADA PELAT DAN BALOK DI AREA PARKIR GEDUNG BERTINGKAT (STUDI KASUS: MALL BUMI KEDATON BANDAR LAMPUNG)**

Nama Mahasiswa : **Silsila Jana Firdasa Sembiring**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2125011001

Program Studi : Magister Teknik Sipil

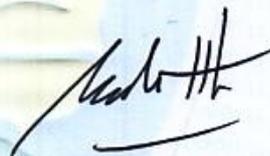
Fakultas : Teknik

**MENYETUJUI**

**1. Komisi Pembimbing**

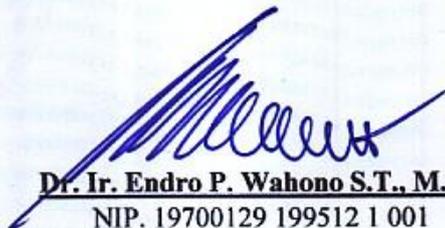


**Dr. Eng. Mohd. Isneini, S.T., M.T.**  
NIP. 19721026 200003 1 001



**Masdar Helmi, S.T., D.E.A., Ph.D.**  
NIP.19700430 199703 1 003

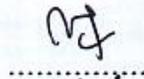
**2. Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil**

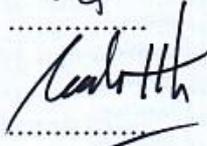


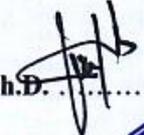
**Dr. Ir. Endro P. Wahono S.T., M.Sc.**  
NIP. 19700129 199512 1 001

**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

**Ketua** : **Dr.Eng. Mohd. Isneini, S.T.,M.T.** 

**Sekretaris** : **Masdar Helmi, S.T., D.E.A., Ph.D.** 

**Penguji  
Bukan Pembimbing** : **Vera Agustriana N, S.T., M.T., Ph.D.** 

: **Dr. Ir. Endro P. Wahono, S.T., M.Sc.** 

**2. Dekan Fakultas Teknik**



**Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.**   
NIP. 19750928 200112 1 002

**3. Direktur Program Pascasarjana**



**Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si.**  
NIP. 19640326 198902 1 001

**4. Tanggal Lulus Ujian Tesis : 25 Juli 2023**

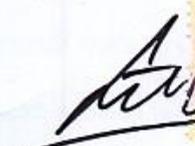
## LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini menyatakan sebenarnya bahwa:

Tesis berjudul **“Analisis Getaran Mekanis pada Pelat dan Balok di Area Parkir Gedung Bertingkat (Studi Kasus: Mall Bumi Kedaton Bandar Lampung)”** adalah karya saya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan atas karya penulis lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan pula bahwa tasis ini dibuat oleh saya sendiri dengan saran dan bantuan dari berbagai pihak.

Atas pernyataan ini, apabila dikemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang diberikan kepada saya dan saya sanggup dituntut sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 25 Juli 2023  
Pembuat Pernyataan



Silsila Jana Firdasa Sembiring

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Liwa, Lampung Barat pada tanggal 11 November 1997. Penulis merupakan anak kedua dari Bapak Wasisno Sembiring dan Ibu Eva Sudiana Yuliarti. Penulis memiliki 3 saudara kandung yang bernama Fadhel Dzaky Al-imani Sembiring, S.T., Sabila Faiza Tsuraya Sembiring dan Malika Kautsar Rahmi Sembiring.

Penulis memulai pendidikan Taman Kanak-Kanak di TK ABA Sebarus, Kecamatan Balik Bukit Lampung Barat dan pendidikan sekolah dasar di SD Negeri 1 Way Mengaku Lampung Barat. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMPN 14 Bandar Lampung dan melanjutkan Sekolah Menengah Atas di SMAN 9 Bandar Lampung yang diselesaikan pada tahun 2016. Pada tahun 2020 penulis lulus sebagai Sarjana Teknik Prodi Teknik Sipil di Universitas Lampung. Pada bulan Mei 2021 penulis bekerja sebagai pengawas lapangan di P.T. Jaya Sampurna (Pembangunan Perumahan Komersil) di Kel. Kurungan Nyawa Kec. Gedung Tataan Kab. Pesawaran, Lampung. Penulis diterima menjadi mahasiswa baru Magister Teknik Sipil Universitas Lampung pada bulan Agustus tahun 2020. Selama menjadi mahasiswa penulis telah menyelesaikan tugas akhir penelitian dengan judul Analisis Getaran Mekanis pada Pelat dan Balok di Area Parkir Gedung Bertingkat (Studi Kasus: Mall Bumi Kedaton Bandar Lampung)

## **PERSEMBAHAN**

*Alhamdulillahirabbilalamin. Kuucapkan Syukur atas Karunia-Mu Akhirnya saya dapat menyelesaikan sebuah karya yang semoga menjadikanku insan yang berguna,bermanfaat dan bermartabat. Aku Persembahkan karya sederhana ini untuk kedua orang tuaku yang sangat aku cintai yang telah merawat dan memberikan dukungan materi serta moril dan spiritual. Terimakasih untuk kesabarannya dalam membimbing dan memberikan arahan serta nasihat yang berguna.*

*Terimakasih telah memeberikan pelajaran hidup yang sangat berharga. Untuk keluarga ku yang selalu mensupport dan bersabar selama masa kuliah aku. Untuk sahabat-sahabatku yang telah mendukungku dan telah menjadi tempat untuk berbagi cerita dan tempat berkeluh kesah.*

*Terima kasih untuk para dosen yang tak hentinya memberikan ilmu pengetahuan, arahan serta bimbingannya.*

*Terima kasih untuk teman-teman keluarga besar angkatan 2016 dan atas dukungannya dalam proses yang sangat panjang ini. Menemani perjalanan kuliah dari awal hingga akhir studi. Banyak kenangan yang telah kita lalui bersama. Serta untuk kekasih tercinta yang selalu ada membantu dan menemani dalam penulisan tesis ini.*

## **KATA INDIRASI**

*“Tidak Ada Kesuksesan Melainkan dengan Pentolongan Allah SWT.”*  
(QS.Al- Huud:88)

*“Jika Kamu Tidak Pernah Berhenti Memikirkannya, Maka Bekerja Keraslah  
untuk Mendapatkannya ”*  
(Michael Jhordan)

*“Lakukan Terus Sesuatu yang Menurutmu Sulit Sampai Kau Lupa Apa Arti Sulit  
Itu”*  
(Silsila Jana Firdasa Sembiring)

## SANWACANA

Dengan mengucap syukur Alhamdulillah dan atas berkat rahmat serta hidayah Allah S.W.T., penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Getaran Mekanis pada Pelat dan Balok di Area Parkir Gedung Bertingkat (Studi Kasus: Mall Bumi Kedaton Bandar Lampung)” sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana Teknik Sipil di Universitas Lampung.

Diharapkan dengan selesainya skripsi ini, Penulis dapat memberikan hasil rekomendasi akibat getaran yang berlebihan pada gedung sebagai referensi dan pengembangan ilmu pengetahuan di bidang teknik sipil.

Pada penyusunan laporan ini Penulis banyak mendapatkan bantuan, dukungan, bimbingan, dan pengarahan dari berbagai pihak. Untuk itu, Penulis mengucapkan terima kasih setinggi-tingginya kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A.IPM selaku Rektor Universitas Lampung dan Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan arahan selama masa perkuliahan.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si. selaku Direktur Program Pascasarjana, Universitas Lampung
3. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

4. Bapak Dr. Ir. Endro P. Wahono, S.T., M.Sc. selaku Ketua Prodi Magister Teknik Sipil Universitas Lampung dan juga Dosen Penguji 2 yang telah memberikan saran serta kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini.
5. Bapak Dr. Eng. Mohd. Isneini, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Utama, kesediaan waktunya memberikan bimbingan dan pengarahan dalam proses penyelesaian tesis ini.
6. Bapak Masdar Helmi, S.T., D.E.A, Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Kedua, atas kesediaan waktu, arahan dan bimbingan serta dukungannya dalam proses penyelesaian tesis ini.
7. Ibu Vera Agustriana Noorhidana, S.T., M.T., Ph.D, selaku Dosen Penguji 1 atas waktunya serta kritik dan saran yang diberikan dalam proses penyelesaian skripsi ini.
8. Bapak Fikri Alami, S.T., M.Sc., M.Phil., selaku Dosen S1 Teknik Sipil Universitas Lampung dalam kesediaan waktunya memberikan atas ide penelitian, bimbingan dan pengarahan dalam proses penyelesaian tesis ini.
9. Bapak Zemmy dan Ibu Alya pihak dari Mall Bumi Kedaton Bandar Lampung yang telah memberikan izin pelaksanaan penelitian dalam pengambilan data untuk penyusunan tesis ini.
10. Semua Dosen Jurusan Teknik Sipil yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat dalam proses pembelajaran dan wawasan untuk lebih baik kedepannya.
11. Kedua orang tuaku tercinta Ayah Wasisno Sembiring, S.E., M.E dan Ibu Eva Sudiana Yulianti, S.ST serta keluarga besar yang telah memberikan dorongan materi dan spiritual dalam menyelesaikan skripsi ini.

12. *Eight Minute Learn* atas pembelajaran permodelan yang diberikan menggunakan ETABS vr. 20.
13. Novia Puja A.N, Yudha Gempa A, Magfirah Nur M.S, Rahayu Putri, Winda Kartika, Edison, Septian Aji P, atas bantuan, kerja sama, saran, dan kritik selama penelitian berlangsung.
14. Keluarga besar angkatan 2021 yang menemani, memberikan semangat dan dukungan yang luar biasa dalam proses penyelesaian tesis ini.
15. Rahmat Anbi Ancing yang telah memberikan semangat, motivasi dan saran kepada saya sehingga tesis ini dapat diselesaikan dengan baik.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa laporan ini masih jauh dari kata sempurna oleh sebab itu kritik dan saran yang membangun sangat Penulis harapkan agar sempurnanya laporan ini dikemudian hari. Akhir kata, Penulis berharap semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat.

Bandar Lampung, 25 Juli 2023

Penulis,

**Silsila Jana Firdasa Sembiring**

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>DAFTAR ISI</b> .....	i
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	iii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vii
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	1
A. Latar Belakang .....	1
B. Rumusan Masalah .....	3
C. Tujuan .....	3
D. Batasan Masalah .....	4
E. Manfaat .....	5
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	6
A. Struktur Gedung Parkir .....	6
1. Pelat Lantai .....	7
2. Balok .....	10
B. Pembebanan .....	13
1. Beban Statis .....	13
2. Beban Dinamis .....	13
C. Getaran Mekanis (Beban Harmonik) .....	14
1. Definisi Getaran Mekanis .....	14
2. Frekuensi Alami.....	16
3. Sistem Getaran Mekanis .....	18
4. Pengukuran Getaran.....	20
5. Redaman .....	21
D. Pengujian Non Destruktive (Tidak Merusak) .....	22
1. <i>Hammer Test</i> .....	22
2. <i>Hardness Tester</i> .....	23
E. Studi Literatur .....	24
1. <i>Floor Vibration Behavior of Car Park Structure Assessment of Different Steel Concrete Solution</i> (Zanon, R., 2019) .....	24
2. <i>Analisis Kenyamanan Pelat Lantai Akibat Beban Mesin Bergetar</i> (Renaldy, D. K., Sofia W.A., 2018) .....	26

<b>III. METODE PENELITIAN</b> .....	27
A. Metode Eksperimental .....	27
B. Metode Numerik .....	27
C. Lokasi Pengujian .....	29
D. Alat .....	30
E. Teknik Pengumpulan Data .....	32
1. Pengambilan Data Struktur dan Kendaraan .....	32
2. Pengambilan Data Getaran .....	32
F. Tahap Pelaksanaan Penelitian .....	33
1. Mengecek kekuatan struktur (pelat) menggunakan alat <i>Hammer test</i> .....	33
2. Mengecek kuat tarik struktur (balok) menggunakan alat <i>Hardness Tester</i> .....	34
3. Melakukan pengukuran getaran dinamis dengan menggunakan <i>vibrationmeter</i> .....	35
G. Pengelolaan Data .....	35
H. Diagram Alur Penelitian .....	37
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	38
A. Hasil Penelitian .....	38
1. Metode Eksperimental .....	38
a. Detail Lokasi .....	38
b. Perhitungan Kuat Tekan Pelat, Kolom ( $f'c$ ) dan Kuat Tarik Balok ( $f_y$ ) .....	39
c. Data Getaran .....	45
2. Metode Numerik .....	74
a. Detail Struktur Hasil Eksperimental .....	74
b. Hasil Analisis .....	75
c. Perkuatan dengan IWF 300 x 150 x 6,5 (mm) .....	78
B. Pembahasan .....	80
<b>V. PENUTUP</b> .....	85
A. Kesimpulan .....	85
B. Saran .....	86
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	87
<b>LAMPIRAN</b> .....	92

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Pelat satu arah dan dua arah .....	7
Gambar 2. Sistem pelat konvensional .....	8
Gambar 3. <i>Steel deck</i> .....	9
Gambar 4. Pelat panel beton ringan/ <i>precest</i> .....	10
Gambar 5. Balok induk dan anak .....	11
Gambar 6. Baja profil <i>WF-beam</i> .....	12
Gambar 7. Perbandingan balok komposit dan balok biasa .....	13
Gambar 8. Jenis- jenis beban dinamik : (a) harmonic sederhana, periodik; (b) periodik, nonharmonik; (c) tidak periodik, transient; (d) tidak periodik/acak .....	14
Gambar 9. Grafik <i>hammer rebound</i> .....	22
Gambar 10. Diagram pemodelan menggunakan ETABS vr. 20.....	28
Gambar 11. Lokasi penelitian .....	29
Gambar 12. <i>Hardness tester</i> .....	30
Gambar 13. <i>Hammer test</i> .....	30
Gambar 14. <i>Akselerometer</i> .....	30
Gambar 15. Timbangan kontainer mobil .....	31
Gambar 16. Jangka sorong .....	31
Gambar 17. Meteran .....	31
Gambar 18. Pemukul <i>rubber</i> .....	32

Gambar 19. Kurva puncak percepatan yang disarankan untuk kenyamanan manusia terhadap vibrasi .....	36
Gambar 20. Diagram alur penelitian .....	37
Gambar 21. Detail lokasi penelitian .....	38
Gambar 22. Skenario penelitian .....	46
Gambar 23. Frekuensi natural pelat skenario 1 (6,15 Hz) .....	47
Gambar 24. Frekuensi natural pelat kondisi awal skenario 2 (5,57 Hz) .....	47
Gambar 25. Frekuensi natural pelat kondisi awal skenario 3 (5,11 Hz) .....	48
Gambar 26. Frekuensi natural pelat kondisi awal skenario 4 (4,64 Hz) .....	48
Gambar 27. Frekuensi natural pelat kondisi awal skenario 5 (4,54 Hz) .....	49
Gambar 28. Frekuensi natural pelat kondisi awal skenario 6 (3,28 Hz) .....	49
Gambar 29. Frekuensi natural pelat kondisi awal skenario 7 (2,87 Hz) .....	50
Gambar 30. Frekuensi natural pelat kondisi puncak skenario 2 (7,87 Hz) .....	50
Gambar 31. Frekuensi natural pelat kondisi puncak skenario 3 (7,08 Hz) .....	51
Gambar 32. Frekuensi natural pelat kondisi puncak skenario 4 (5,15 Hz) .....	51
Gambar 33. Frekuensi natural pelat kondisi puncak skenario 5 (4,52 Hz) .....	52
Gambar 34. Frekuensi natural pelat kondisi puncak skenario 6 (2,47 Hz) .....	52
Gambar 35. Frekuensi natural pelat kondisi puncak skenario 7 (1,68 Hz) .....	53
Gambar 36. Frekuensi natural balok skenario 1 (8,89 Hz) .....	53
Gambar 37. Frekuensi natural balok kondisi awal skenario 2 (8,84 Hz) .....	54
Gambar 38. Frekuensi natural balok kondisi awal skenario 3 (8,4 Hz) .....	54
Gambar 39. Frekuensi natural balok kondisi awal skenario 4 (7,15 Hz) .....	55
Gambar 40. Frekuensi natural balok kondisi awal skenario 5 (8,59 Hz) .....	55
Gambar 41. Frekuensi natural balok kondisi awal skenario 6 (6,37 Hz) .....	56
Gambar 42. Frekuensi natural balok kondisi awal skenario 7 (5,06 Hz) .....	56

Gambar 43. Frekuensi natural balok kondisi puncak skenario 2 (9,57 Hz) ....	57
Gambar 44. Frekuensi natural balok kondisi puncak skenario 3 (9,42 Hz) ....	57
Gambar 45. Frekuensi natural balok kondisi puncak skenario 4 (4,49 Hz) ....	58
Gambar 46. Frekuensi natural balok kondisi puncak skenario 5 (3,54 Hz) ....	58
Gambar 47. Frekuensi natural balok kondisi puncak skenario 6 (3,84 Hz) ....	59
Gambar 48. Frekuensi natural balok kondisi puncak skenario 7 (2,60 Hz) ....	59
Gambar 49. Akselerasi pelat skenario 1 (0,014365 m/s <sup>2</sup> ) .....	60
Gambar 50. Akselerasi pelat kondisi awal skenario 2 (0,02394 m/s <sup>2</sup> ) .....	60
Gambar 51. Akselerasi pelat kondisi awal skenario 3 (0,02394 m/s <sup>2</sup> ) .....	61
Gambar 52. Akselerasi pelat kondisi awal skenario 4 (0,038307 m/s <sup>2</sup> ) .....	61
Gambar 53. Akselerasi pelat kondisi awal skenario 5 (0,28730 m/s <sup>2</sup> ) .....	62
Gambar 54. Akselerasi pelat kondisi awal skenario 6 (0,33519 m/s <sup>2</sup> ) .....	62
Gambar 55. Akselerasi pelat kondisi awal skenario 7 (0,33997 m/s <sup>2</sup> ) .....	63
Gambar 56. Akselerasi pelat kondisi puncak skenario 2 (0,20590 m/s <sup>2</sup> ) .....	63
Gambar 57. Akselerasi pelat kondisi puncak skenario 3 (0,26336 m/s <sup>2</sup> ) .....	64
Gambar 58. Akselerasi pelat kondisi puncak skenario 4 (0,26336 m/s <sup>2</sup> ) .....	64
Gambar 59. Akselerasi pelat kondisi puncak skenario 5 (0,28730 m/s <sup>2</sup> ) .....	65
Gambar 60. Akselerasi pelat kondisi puncak skenario 6 (0,23941 m/s <sup>2</sup> ) .....	65
Gambar 61. Akselerasi pelat kondisi puncak skenario 7 (0,26815 m/s <sup>2</sup> ) .....	66
Gambar 62. Akselerasi balok skenario 1 (0,043095 m/s <sup>2</sup> ) .....	66
Gambar 63. Akselerasi balok kondisi awal skenario 2 (0,071825 m/s <sup>2</sup> ) .....	67
Gambar 64. Akselerasi balok kondisi awal skenario 3 (0,0718259 m/s <sup>2</sup> ) .....	67
Gambar 65. Akselerasi balok kondisi awal skenario 4 (0,0957697 m/s <sup>2</sup> ) .....	68
Gambar 66. Akselerasi balok kondisi awal skenario 5 (0,36871 m/s <sup>2</sup> ) .....	68

Gambar 67. Akselerasi balok kondisi awal skenario 6 ( $0,36870 \text{ m/s}^2$ ) .....	69
Gambar 68. Akselerasi balok kondisi awal skenario 7 ( $0,38307 \text{ m/s}^2$ ) .....	69
Gambar 69. Akselerasi balok kondisi puncak skenario 2 ( $0,20590 \text{ m/s}^2$ ) .....	70
Gambar 70. Akselerasi balok kondisi puncak skenario 3 ( $0,28251 \text{ m/s}^2$ ) .....	70
Gambar 71. Akselerasi balok kondisi puncak skenario 4 ( $0,23942 \text{ m/s}^2$ ) .....	71
Gambar 72. Akselerasi balok kondisi puncak skenario 5 ( $0,28251 \text{ m/s}^2$ ) .....	71
Gambar 73. Akselerasi balok kondisi puncak skenario 6 ( $0,30645 \text{ m/s}^2$ ) .....	72
Gambar 74. Akselerasi balok kondisi puncak skenario 7 ( $0,37828 \text{ m/s}^2$ ) .....	72
Gambar 75. Detail balok <i>honeycomb</i> : a) IWF 440 x160 x7x 12, b) IWF 520 x170 x8,5 x11, c) IWF 150 x 90 x12 x8 .....	75
Gambar 76. <i>Mode shape</i> skenario pertama (0,167 s atau 5,89) .....	75
Gambar 77. Akselerasi skenario pertama ( $0,018872 \text{ m/s}^2$ ) .....	76
Gambar 78. Peletakan IWF 300 x 150 x 6,5: a) arah y , b) arah x .....	78
Gambar 79. Grafik perbandingan hasil eksperimental kondisi awal dengan ISO 2631-2 .....	81
Gambar 80. Grafik perbandingan hasil eksperimental kondisi puncak dengan ISO 2631-2 .....	81
Gambar 81. Grafik perbandingan perkuatan arah y dengan ISO 2631-2 .....	83
Gambar 82. Grafik perbandingan perkuatan arah x dengan ISO 2631-2 .....	83

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Perhitungan standar deviasi (SD).....	39
Tabel 2. Perhitungan $f'c$ pelat .....	40
Tabel 3. Perhitungan standar deviasi (SD).....	41
Tabel 4. Perhitungan $f'c$ kolom .....	42
Tabel 5. Perhitungan $f_y$ IWF 440 x 160 x 7 x 12 (mm) .....	43
Tabel 6. Perhitungan $f_y$ IWF 150 x 90 x 12 x 8 (mm) .....	44
Tabel 7. Perhitungan $f_y$ IWF 520 x 170 x 8,5 x 11 (mm) .....	45
Tabel 8. Hasil penelitian eksperimental .....	73
Tabel 9. Perbandingan hasil eksperimental dengan analisis .....	77
Tabel 10. Perbandingan hasil frekuensi natural sebelum dan setelah dilakukan perkuatan pada arah y .....	79
Tabel 11. Perbandingan hasil frekuensi natural sebelum dan setelah dilakukan perkuatan pada arah x .....	79
Tabel 12. Perbandingan hasil eksperimen dalam kondisi sepi dan ramai pada pelat dengan ISO 2631-2, 2022 .....	82

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Peningkatan jumlah penduduk disetiap tahunnya sangat berpengaruh terhadap kesediaan lahan pada suatu daerah. Semakin banyaknya populasi maka kebutuhanpun semakin banyak pula sehingga jumlah lahan yang dibutuhkan akan terus berkurang. Kebutuhan tersebut meliputi kebutuhan primer, sekunder dan tersier. Salah satu kebutuhan yang berpengaruh terhadap kesediaan lahan adalah tempat tinggal dan kendaraan. Oleh karena itu upaya untuk meminimalisir pemakaian lahan yang berlebih maka dibangunlah sebuah gedung bertingkat.

Di Indonesia sudah banyak melakukan pembangunan gedung bertingkat untuk meminimalisir ketersediaan lahan contohnya dengan pembangunan rumah susun atau apartemen. Tetapi dalam pembangunan parkir kendaraan menggunakan lahan yang cukup luas. Di negara-negara maju untuk mengoptimalkan kebutuhan lahan selain membangun gedung bertingkat sebagai tempat tinggal, mereka juga membangun gedung khusus untuk kendaraan atau sering disebut *car park structure*. Dalam proses perencanaan pembangunan suatu gedung parkir mempertimbangkan beberapa kriteria seperti kekakuan, kelenturan, kestabilan, kekuatan dan keekonomisan agar bangunan tersebut aman. Selain kriteria tersebut, ada satu kriteria yang sering dikesampingkan dalam proses perencanaan infrastruktur yaitu adalah

kenyamanan khususnya pada masalah getaran yang berdampak terhadap pengguna infrastruktur dapat memberikan tekanan terhadap rasa ketidaknyamanan/kekhawatiran kepada penggunanya (ISO 2631, 2020).

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: 2020 tentang beban minimum untuk perencanaan bangunan gedung dan struktur lain. Sedangkan kendaraan dapat menghasilkan getaran baik dalam keadaan bergerak ataupun dalam kondisi diam dengan mesin hidup/ *steady state machine* (mekanis). Getaran akan timbul ketika frekuensi alami pada struktur mendekati frekuensi getaran orang yang berjalan di atasnya sehingga dapat menimbulkan ketidaknyamanan (Morib, 2018). 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 (Murray, 2003 dan Smith, 2009). Selain ketidaknyamanan getaran yang dihasilkan oleh mesin apabila dilakukan rutin dan dengan periode yang lama maka akan menimbulkan getaran siklis yang dapat menyebabkan kelelahan pada material bangunan (Prakash, 2006).

Sering kali terlihat dilapangan khususnya ditempat perbelanjaan seperti *mall* kebanyakan orang menunggu di dalam mobil dalam keadaan mesin menyala. Getaran yang diberikan dalam periode yang lama dapat menyebabkan kelelahan pada material bangunan (Prakash, 2006). Oleh karena itu penelitian

ini dikhususkan untuk mesin mobil yang bergetar dan mesin mobil dalam keadaan diam terhadap pelat dan balok pada struktur di area parkir *Mall Bumi Kedaton* Bandar Lampung yang sudah didirikan sejak tahun 2014. Metode yang digunakan pada penelitian berupa eksperimen dengan menggunakan alat akselerometer untuk menangkap getaran dan analisis menggunakan ETABS vr 20 dalam pembuatan pemodelannya.

#### B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas rumusan masalah yang dapat diambil adalah:

1. Bagaimana perilaku getaran dan dampaknya terhadap pelat dan balok di area parkir *Mall Bumi Kedaton* Bandar Lampung
2. Bagaimana cara menangani getaran (*steady state machine*) yang terjadi pada pelat dan balok di area parkir *Mall Bumi Kedaton* Bandar Lampung.

#### C. Tujuan

Penelitian ini difokuskan untuk mempelajari respon dari getaran mekanis yang dihasilkan oleh mesin kendaraan terhadap pelat dan balok dengan tujuan:

1. Menganalisis perilaku getaran mekanis dan dampak yang ditimbulkan terhadap balok dan pelat di area parkir *Mall Bumi Kedaton* Bandar Lampung.
2. Menindaklanjuti permasalahan getaran dengan cara meminimalisir getaran yang melebihi batas kenyamanan manusia menurut ISO 2631 tahun 2022.

#### D. Batasan Masalah

Pada penelitian ini terdapat batasan masalah agar terarah dan tidak terjadi penyimpangan atau pelebaran pokok permasalahan sehingga memudahkan dalam pembahasan dan tujuan penelitian ini dapat tercapai. Beberapa batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Lokasi penelitian berada di lantai 3 area parkir *Mall* Bumi Kedaton Bandar Lampung.
2. Perilaku yang diberikan saat mesin diam dan saat mesin bergetar / *steady state machine*.
3. Getaran dilakukan dalam keadaan mesin menyala dan mesin diam. Dua kondisi diterapkan (kondisi awal dan puncak), kondisi awal pada jam 06.00 – 08.00 pagi (tidak adanya aktivitas) dan kondisi puncak pada jam 17.00 – 18.00 siang (puncak aktivitas).
4. Pembebanan hanya menggunakan 3 mobil yang berukuran besar (Rush hitam tahun 2007, Inova hitam tahun 2014, dan Fortuner putih tahun 2014).
5. Pemodelan difokuskan pada bagian eksisting yang diteliti saja.
6. Getaran mekanis yang disalurkan hanya ditinjau dari arah vertikal terhadap pelat dan balok.
7. Hanya meninjau kenyamanan dan kemungkinan kerusakan gedung yang diakibatkan oleh getaran *steady state machine* dengan periode waktu tertentu.
8. Standar kenyamanan yang dipakai adalah ISO 2631 tahun 2022.
9. Pemodelan dengan menggunakan ETABS vr. 20.

#### E. Manfaat

Manfaat penelitian ini adalah:

1. Menambah wawasan dan ilmu pengetahuan mengenai permasalahan getaran mekanis pada kondisi mobil diam dengan mesin menyala pada pelat dan balok di area parkir gedung bertingkat
2. Memberikan solusi terhadap permasalahan getaran mekanis yang terjadi pelat dan balok di area parkir gedung bertingkat agar dapat memberikan rasa aman dan nyaman bagi pengguna.
3. Sebagai sumber informasi bagi masyarakat tentang permasalahan getaran mekanis pada mobil dalam kondisi diam dengan mesin menyala/ *steady state machine*.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Struktur Gedung Parkir

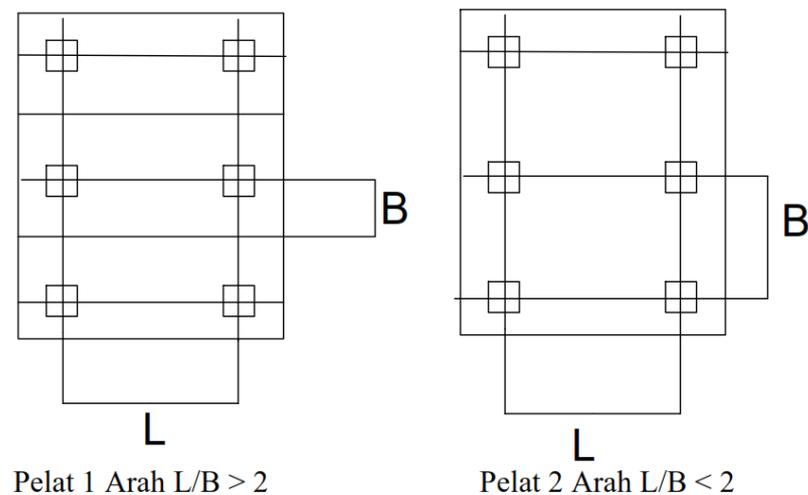
Gedung parkir adalah gedung yang khusus dibangun untuk tempat parkir suatu kendaraan, baik kendaraan pribadi ataupun kendaraan pembawa barang. Gedung parkir dapat meminimalisir penggunaan lahan sehingga lebih efisien digunakan dilahan lahan yang sempit seperti di daerah perkotaan khususnya di pusat kegiatan perbelanjaan, perkantoran, dan pusat kegiatan lainnya.

Bangunan gedung parkir tercantum di dalam dalam SNI 1726: 2019 yaitu tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung dan SNI 1727: 2020 tentang beban minimum untuk perencanaan bangunan gedung dan struktur lain. Menurut peraturan di atas dalam perencanaannya pembangunan gedung parkir hanya mempertimbangkan beban statis (vertikal) dan dinamis (horizontal), tidak mempertimbangkan getaran yang ditimbulkan akibat kendaraan diatasnya dalam situasi dinamis (vertikal) atau yang dapat disebut getaran mesin kendaraan/ getaran mekanis.

Beban mekanis dapat ditimbulkan dari mesin yang dihidupkan baik kendaraan, mesin (generator) ataupun suara (*sound system*). Aspek yang terkena secara langsung untuk bangunan gedung parkir khususnya untuk beban kendaraan baik pribadi ataupun kendaraan barang adalah pelat dan balok yang mampu menampung baban vertikal kendaraan. Berikut adalah macam-macam pelat dan balok yang digunakan dalam perencanaan pembangunan gedung parkir:

## 1. Pelat Lantai

Pelat lantai adalah elemen horizontal utama yang menyalurkan beban baik hidup maupun mati ke kerangka pendukung vertikal dari suatu sistem struktur dan mampu menahan beban-beban transversal melalui aksi lentur ke masing-masing tumpuan (Nawy, 1990). Pelat diklasifikasikan menjadi dua macam berdasarkan Panjang dan lebar yaitu pelat satu arah dan dua arah. Dikatakan pelat satu arah jika  $L/B > 2$  dan dikatakan dua arah jika  $L/B < 2$  (Wang, 1979).

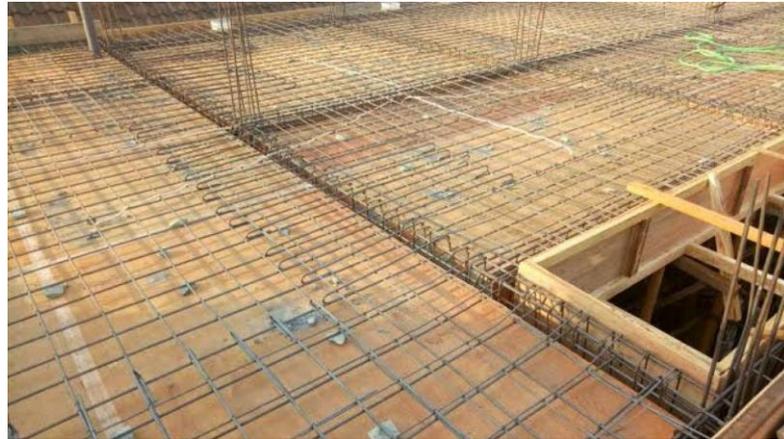


Gambar 1. Pelat satu arah dan dua arah

Pelat lantai pada bangunan gedung parkir memiliki beberapa sistem diantaranya adalah pelat lantai beton konvensional yang sering dipakai pada proyek konstruksi pada umumnya, pelat lantai dengan sistem pelat boundeck, sistem pelat lantai menggunakan panel beton ringan/ precast.

a. Pelat Konvensional

Pelat konvensional adalah pelat yang dilakukan pengecoran secara case-in-situ atau di tempat dengan menggunakan bekisting kayu sebagai penahan tulangan dan coran yang akan disatukan.



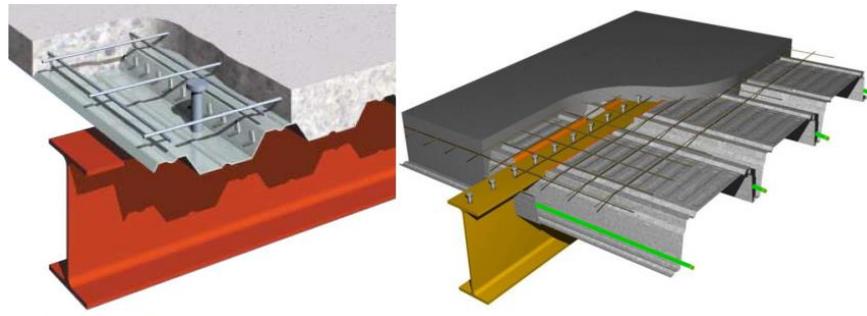
Gambar 2. Sistem pelat konvensional  
(Sumber: <https://asiacon.co.id/blog> )

b. Pelat Komposit (*Steel Deck/ Boundeck*)

Pelat lantai komposit beton-dek baja merupakan metode konstruksi pelat lantai yang paling efisien, bahkan lebih efisien dari pada sistem pelat pra-cetak metode *half slab* (Fastaria, 2014). Hal ini dikarenakan tidak perlunya melepas dek baja gelombang pasca proses pengecoran beton yang berfungsi sebagai pengganti tulangan positif sekaligus sebagai cetakan lantai (Widhiawati, 2010).

*Steel Deck* merupakan pelat baja *galvanized* pengganti papan bekisting yang dipergunakan sebagai lapisan paling dasar pada pengecoran dak beton. Pelat ini terbuat dari baja *high tensile* dengan permukaan yang berprofil gelombang menyerupai huruf W. Profil ini berfungsi untuk

memperkuat daya lekat beton ke pelat terhadap gaya geser dan konstruksi dak. Selain itu juga memperkecil kemungkinan retak pada hasil pengecoran. Berikut adalah Gambar 3 dari *steel deck*.



Gambar 3. *Steel deck*  
(Sumber: Zanon Ricardo, 2019)

c. Pelat Panel Beton Ringan/ *Precast*

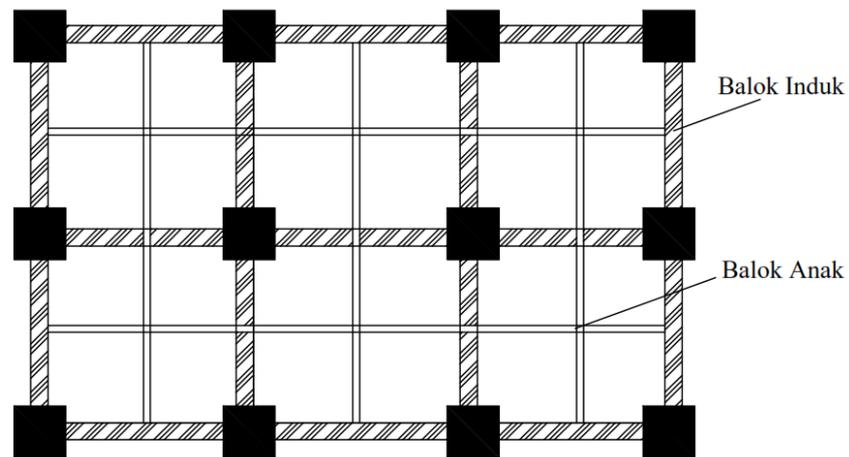
Pelat lantai *precast* yaitu beton ringan berbentuk lembaran panel yang digunakan untuk berbagai macam aplikasi konstruksi baik pemikul beban, maupun non pemikul beban. Campuran bahan yang digunakan adalah pasir, semen, kapur, *gypsum*, bahan daur ulang, agen aerasi, dan juga pasta aluminium. Semua bahan campuran akan dibentuk kemudian dipotong, dan juga diberikan tekanan uap yang disempurnakan di dalam *autoclave*. Setelah semua proses selesai, panel lantai siap diangkat dan dipergunakan untuk konstruksi. Panel ini mempunyai manfaat seperti halnya beton tradisional. Contohnya adalah tahan api, akustik, kuat, dan tahan terhadap hama. Selain sifat tersebut, panel beton ringan juga lebih cepat dalam pemasangannya.



Gambar 4. Pelat panel beton ringan/ *precast*  
(Sumber : *Oktoprianto Yogi, 2010*)

## 2. Balok

Balok adalah batang horizontal yang memikul beban tegak lurus sepanjang bentang tersebut baik dari dinding, pelat ataupun atap bangunan. Balok juga dapat menyalurkan energi (beban di atasnya) menuju tumpuan struktur yang berada di bawahnya (Dipohusodo, 1996). Berdasarkan tumpuannya ada beberapa macam bentuk balok beton bertulang yaitu balok induk dan balok anak. Balok induk adalah balok yang bertumpu pada kolom dan menghubungkan dari kolom ke kolom. Balok ini berfungsi untuk memperkecil lendutan yang terjadi pada pelat di atasnya. Sedangkan balok anak adalah balok yang bertumpu pada balok induk. Balok anak ini biasanya digunakan pada bentang yang panjang sehingga dapat memperkecil lendutan yang terjadi.



Gambar 5. Balok Induk dan Anak

Sistem yang digunakan dalam perencanaan balok pada bangunan gedung parkir dibagi menjadi tiga macam yaitu balok beton bertulang, balok dengan baja IWF dan balok komposit.

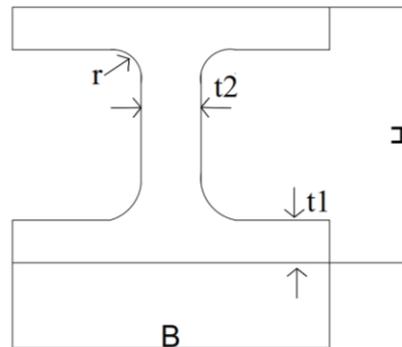
a. Balok Beton Bertulang

Balok Beton bertulang adalah salah satu komponen struktur bangunan yang merupakan gabungan dari dua bahan material yaitu beton polos dan tulangan baja. Beton polos adalah material yang memiliki kuat tekan yang tinggi tetapi lemah terhadap kuat tarik, sedangkan tulangan baja memiliki kuat tarik yang tinggi. Oleh karena itu beton bertulang sangat kuat terhadap beban tekan dan tarik.

b. Balok Baja WF

Balok baja WF adalah pemasangan profil baja *Wide Flange* dengan tumpuan kolom dan yang menghubungkan dari kolom ke kolom. Profil *Wide Flange* adalah profil berpenampang H atau I dengan sumbu simetri ganda, yang dihasilkan dari proses pemanasan (*Hot rolling mill*) atau profil tersusun buatan. Baja Profil *WF-beam* memiliki dimensi

tinggi badan ( $H$ ), lebar sayap ( $B$ ), tebal badan ( $t_1$ ), tebal sayap ( $t_2$ ) merata dari ujung hingga pangkal radius ( $r$ ) dengan penjelasan seperti pada Gambar 5 berikut ini.



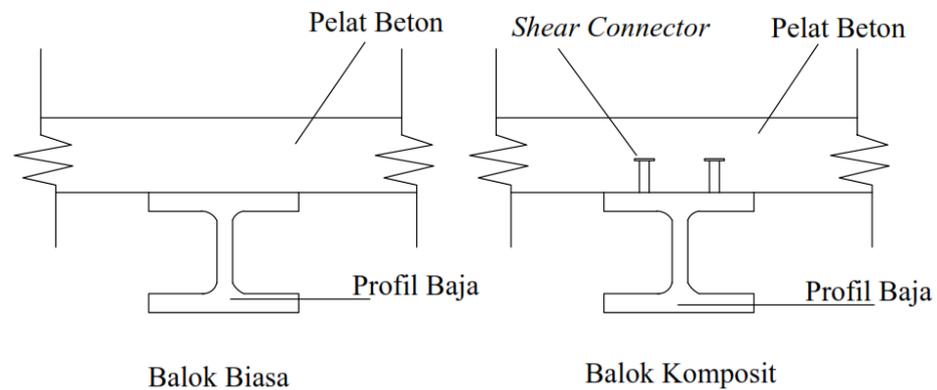
Gambar 6. Baja profil *WF-beam*

Proses pemasangan Profil baja yaitu disusunan dari beberapa batang baja yang disambungkan dipertemuan simpul dengan menggunakan las maupun baut. Baja merupakan bahan material yang kuat dan memiliki flesbelitas yang tinggi dibandingkan dengan struktur rangka beton.

#### c. Balok Komposit

Balok komposit adalah jenis balok yang menggabungkan dua material atau lebih dengan sifat dan karakteristik berbeda namun mampu bekerja sama menjadi satu kesatuan dalam menahan beban yang ada. Balok komposit baja beton mampu mengakomodir kelebihan dari baja maupun beton dalam menahan beban yang bekerja padanya (Hayu, 2019). Struktur komposit memiliki beberapa keuntungan, diantaranya yaitu dapat menghemat profil baja hingga 30%, menghemat tinggi lantai bangunan, mereduksi lendutan pelat lantai, memiliki momen

pikul dan kapasitas daya pikul beban yang lebih besar dibandingkan balok konvensional (Rozi, 2016).



Gambar 7. Perbandingan balok komposit dan balok biasa

## B. Pembebanan

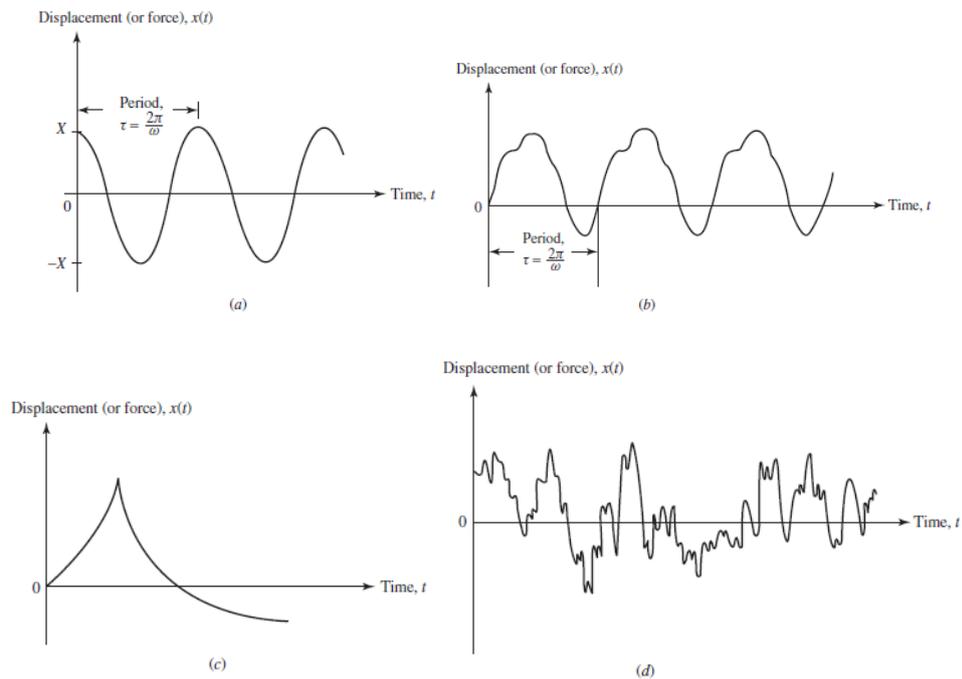
### 1. Beban Statis

Beban statis adalah beban yang bekerja secara terus-menerus pada suatu struktur. Beban statis juga diasumsikan dengan beban-beban yang secara perlahan-lahan timbul serta mempunyai variabel besaran yang bersifat tetap (*steady states*). Beban statis ini seperti, beban mati dan beban hidup yang terjadi pada gedung itu.

### 2. Beban Dinamis

Beban dinamis adalah beban yang bergerak yang bekerja pada struktur. Pada umumnya, beban ini tidak bersifat tetap serta mempunyai karakteristik besaran dan arah yang berubah dengan cepat. Deformasi pada struktur akibat beban dinamik ini juga akan berubah-ubah secara cepat. Beban dinamis, dapat diklasifikasikan sebagai beban harmonik atau sinusoidal

(mesin berputar), beban periodik (aktivitas berirama manusia), beban sementara (pergerakan orang: berjalan dan berlari), dan beban impuls (orang melompat).



Gambar 8. Jenis- jenis beban dinamik : (a) harmonik sederhana, periodik; (b) periodik, nonharmonik; (c) tidak periodik, transient; (d) tidak periodik/acak (Rao, 2007).

### C. Getaran Mekanis (Beban Harmonik)

#### 1. Definisi Getaran Mekanis

Getaran adalah gerakan periodik atau gerakan berulang secara berkala partikel-partikel dari suatu medium dalam arah berlawanan secara bergantian dari posisi keseimbangan yang mengakibatkan keseimbangan tersebut terganggu (Leissa, 2011). Sedangkan getaran mekanis adalah getaran yang dihasilkan oleh mesin yang berputar dan dapat mengakibatkan getaran terhadap komponen lainnya. Getaran mesin disebabkan oleh adanya variasi dari sistem penggerak menjadi suatu gaya yang memiliki

resultan tidak sama dengan nol atau nilai resultan gaya tersebut berubah-ubah. Getaran mesin juga dapat terjadi jika gaya putar/ torsinya tidak seimbang dalam artian sehingga gaya tersebut tidak mempunyai nilai tetap, perubahan tekanan, dan perubahan momen lentur dalam setiap gerakan benda (Karyasa, 2011).

Struktur yang diberikan getaran mesin yang berubah-ubah dengan frekuensi dan kecepatan sama maka dapat menimbulkan resonansi. Resonansi akan menyebabkan amplitudo getaran naik sehingga frekuensi idealnya mencapai tak terhingga, sehingga getaran tersebut dapat merusak struktur pada bagian yang terkena getaran. Getaran dapat dikurangi dengan redaman atau melihat dari penampakan pada frekuensi dan amplitudonya. Redaman pada struktur gedung dapat dilakukan dengan pemasangan *tuned mass dampers (TMD)* atau menambah kekakuan pada struktur tersebut (Picauly, 2017; Zheng, 2017; Bachroni, 2014). Beberapa klasifikasi penting getaran antara lain adalah sebagai berikut (Rao, 2011):

- a. Getaran bebas adalah getaran yang terjadi pada suatu sistem (mekanisme) tanpa adanya pengaruh gaya luar (eksitasi) yang memengaruhinya. Dengan kata lain, eksitasi diberikan pada awal saja, setelah itu benda akan berosilasi.
- b. Getaran paksa adalah getaran yang terjadi pada suatu sistem karena adanya gaya luar (eksitasi). Sebagai contoh adalah getaran pada motor diesel. Jika rangsangan tersebut berosilasi maka sistem dipaksa untuk bergetar pada frekuensi rangsangan. Jika frekuensi rangsangan sama

dengan salah satu frekuensi natural sistem maka akan terjadi resonansi, dan osilasi yang besar sehingga dapat menimbulkan bahaya.

- c. Getaran tak teredam adalah getaran di mana tidak ada terjadi kehilangan energi yang disebabkan tahanan selama osilasi
- d. Getaran teredam adalah getaran yang terjadinya kehilangan energi karena tahanan selama osilasi
- e. Getaran linier adalah semua komponen system yang bergetar, baik itu pegas massa, dan peredam berperilaku linier.
- f. Getaran non- linier adalah semua komponen system yang bergetar, baik itu pegas massa, dan peredam berperilaku non- linier atau acak.
- g. Getaran deterministik adalah getaran dengan nilai eksitasi yang bekerja pada suatu system diketahui setiap saat.
- h. Getaran *random*/ getaran acak adalah nilai eksitasi yang bekerja pada suatu sistem tidak dapat diperkirakan.

## 2. Frekuensi alami

Setiap elemen struktur dalam sebuah sistem memiliki frekuensinya sendiri. Parameter terpenting dalam mengetahui suatu getaran tersebut dapat merusak atau tidak dilihat dari nilai frekuensi alaminya. Frekuensi alami adalah frekuensi sistem yang bergetar secara bebas atau sering disebut dengan getaran bebas. Getaran dapat dirasakan ketika frekuensi alami pada struktur mendekati frekuensi getaran orang yang berjalan di atasnya sehingga menyebabkan percepatan lantai dan deformasi yang berlebihan hal tersebut mengakibatkan ketidaknyamanan pada manusia, kelelahan struktural, bahkan kegagalan sistem struktural (Zheng, 2017). Frekuensi alami struktur

merupakan representasi dari fleksibilitas struktur yang merupakan fungsi dari kekakuan dan massa. Frekuensi alami dapat ditingkatkan dengan meningkatkan kekakuan atau mengurangi massa (Morib,2018). Setiap elemen struktur memiliki frekuensi alaminya tersendiri contohnya frekuensi alami pada balok dan pelat. Frekuensi alami balok atau balok anak dapat diparkirkan dari frekuensi alami fundamental yang persamaannya sebagai berikut (Murray, 2003).

$$f_n = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{k}{m}} \dots\dots\dots(1)$$

$$f_n = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{g E_s I_t}{w L^4}} \dots\dots\dots(2)$$

$$\omega_n = 2\pi f_n \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

- $f_n$  = frekuensi dasar alami (Hz)
- $\omega_n$  = frekuensi dasar alami (rad/s)
- $g$  = percepatan grafitasi (9,8 m/s<sup>2</sup>)
- $E_s$  = modulus elastisitas baja (kg/m.s<sup>2</sup>)
- $I_t$  = momen inersia traspormasi (kg/m<sup>2</sup>)
- $w$  = massa bentang (kg)
- $L$  = panjang bentang (m)

Frekuensi alami pada lantai komposit di mana pelat lantai diparkirkan sebagai balok yang mempunyai lebar efektif dan momen inersia, frekuensi alami diberikan sebagai berikut (Smith, 2009):

$$f_n = K \sqrt{\frac{E_s I_t}{w L^4}} \dots \dots \dots (4)$$

Nilai K tergantung dari kondisi batas dan diberikan sebagai 1,57 untuk dukungan sederhana, dukungan semi kaku 2,45 dan dukungan sangat kaku 3,56, sedangkan untuk balok kantilever nilai K adalah 0,56.

Dalam menghitung frekuensi alami untuk pelat dan balok komposit perubahan momen inersia akan digunakan. Untuk memperhitungkan kekakuan yang lebih besar dari beton pada dek baja dibawahnya, beban dinamis dibandingkan dengan beban statis direkomendasikan bahwa modulus elastisitas beton diambil sebesar 1,35 kali dari yang ditentukan dalam standar struktural saat ini dalam perhitungan momen inersia transformasi. Dalam menentukan momen inersia transformasi dari balok, lebar efektif pelat beton diambil sebagai jarak batang tetapi tidak boleh lebih besar dari 0,4 kali panjang batang (Murray, 2003).

### 3. Sistem Getaran Mekanis

Sistem getar secara umum merupakan sarana untuk menyimpan energi potensial (pegas atau elastisitas), energi kinetik (massa atau inersia), dan energi disipasi (redaman). Getaran suatu sistem melibatkan transfer energi potensial ke energi kinetik dan energi kinetik ke energi potensial secara bergantian. Apabila sistem teredam, sebagian energi akan berkurang dalam setiap periode getaran dan harus diganti oleh sumber energi lain dari luar sistem jika keadaan getaran harus dipertahankan dalam kondisi stabil (Rao, 2011). Dalam penggambaran suatu sistem diperlukan variabel atau

koordinat pada sistem yang disebut dengan derajat kebebasan (*degree of freedom*).

Derjat kebebasan (*degree of freedom*) adalah jumlah minimum variable bebas yang diperlukan untuk menggambarkan gerakan suatu sistem. Sistem dengan jumlah derajat kebebasan terbatas disebut sistem parameter diskrit, sedangkan sistem dengan jumlah derajat kebebasan tak terbatas disebut sistem kontinu (Chakraverty, 2009).

Sistem getaran mekanis dibagi menjadi 5 yaitu:

- a. *Actual System (Structure)*
- b. *One Degree of Freedom (Stiffness and Damping Syestem)*
- c. *Two Degree of Freedom (Stiffness, Damping and Suspension Syestem)*
- d. *Two Degree of Freedom and Rolling Motion (Stiffness, Damping and Suspension Syestem)*
- e. *Beam with Rolling and Infinite Degree of Freedom (Distributed mass, Stiffness, Trie and Suspention Syestem)*

Dalam hal ini akan lebih mengkerucuti untuk poin (e) dari sistem mekanis di mana getaran yang diberikan oleh kendaraan akan disalurkan ke seluruh permukaan struktur khususnya pelat dan balok. Getaran yang ditimbulkan oleh mesin mobil karena adanya perputaran mesin ( $\omega$ ) di dalam. Perputaran yang tersebut akan menghasilkan simpangan, percepatan dan kecepatan di mana rumus dari ketiganya secara umum adalah:

$$x = A \sin \omega t \dots\dots\dots(5)$$

$$\dot{x} = \omega A \cos \omega t \dots\dots\dots(6)$$

$$\ddot{x} = -\omega^2 A \sin \omega t \dots\dots\dots(7)$$

Keterangan:

$x$  = Simpangan (m)

$\dot{x}$  = Percepatan ( $\text{m/s}^2$ )

$\ddot{x}$  = Kecepatan (m/s)

$\omega$  = Kecepatan sudut (rad/s)

#### 4. Pengukuran Getaran

##### a. Akselerometer

Akselerometer adalah alat pendeteksi getaran dengan penggunaan sensor magnetik. Cara kerja akselerometer menggunakan prinsip percepatan (akselerasi). Misalkan getaran yang dihasilkan oleh kendaraan dapat direkam oleh suatu *chip* di dalam alat. *Chip* tersebut dapat mendeteksi 3 arah yaitu vertikal (x), horizontal (y) dan longitudinal (z). Akselerometer dapat digunakan untuk mengukur getaran pada mobil, mesin, bangunan, sistem kontrol proses dan instalasi keamanan.

##### b. FFT (*Fast Fourier Transform*)

*Fast Fourier Transform* (FFT) adalah salah satu cara untuk mentransformasi sinyal getaran menjadi sinyal frekuensi. Sinyal getaran yang terdapat dalam suatu mesin merupakan sebuah sinyal analog yang harus di konversi menjadi sebuah sinyal digital. *Fast Fourier Transform* (FFT) akan mengubah sinyal analog ini menjadi sinyal digital berupa gelombang spektrum getaran berbasis frekuensi. Pada

penelitian ini digunakan aplikasi Logger Pro untuk mengubah sinyal analog yang terdapat pada alat akselerometer menjadi sinyal digital.

## 5. Redaman

Redaman adalah suatu cara dalam menghilangkan jumlah energi ketika struktur bergetar. Redaman dengan tingkat yang tinggi akan mengurangi getaran yang terdampak pada struktur. Redaman dapat ditingkatkan dengan menggunakan alat peredam TMD (*tuned mass dampers*) atau dengan menambah kekakuan pada struktur tersebut.

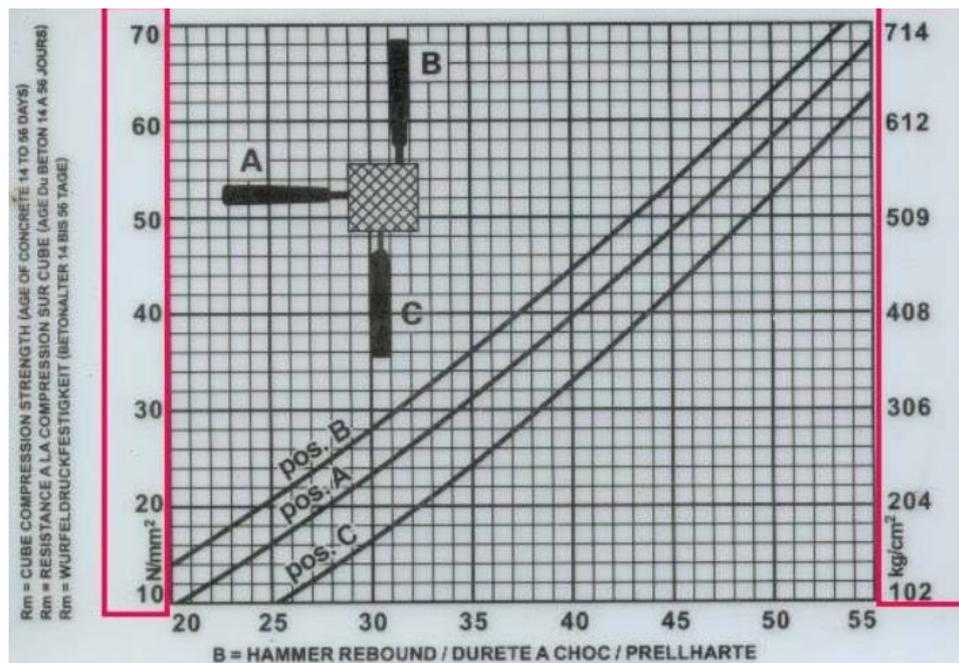
TMD (*tuned mass dampers*) dengan FRR (*fiber reinforced rubber*) cukup efektif untuk mengurangi respon amplitudo struktur pelat. FRR pada TMD meningkatkan rasio redaman pelat dari 1,21% tanpa menggunakan TMD menjadi 2,03% dengan menggunakan TMD dan 2,56% dengan menggunakan TMD+FRR, sedangkan akselerasi langkah kaki yang diterapkan pada slab berkurang dari 0,201 g hingga 0,081 g (Picauly, 2017).

Penambahan kekakuan pada struktur adalah salah satu cara yang efektif dan efisien dibandingkan dengan penggunaan TMD (*tuned mass dampers*). Penambahan dapat dilakukan dengan menambah balok anak pada struktur tersebut, 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 (Bachroni, 2014).

## D. Pengujian *Non Destructive* (Tidak Merusak)

### 1. *Hammer Test*

*Hammer test* adalah suatu metode pemeriksaan mutu beton tanpa merusak struktur beton itu sendiri. Metode pengujian ini dilakukan dengan memberikan beban *impact* (tumbukan) pada permukaan beton dengan menggunakan suatu massa yang diaktifkan dan menggunakan energi yang besarnya tertentu. Pengaplikasian *hammer test* haruslah ditempat yang rata dan dengan posisi yang tepat. Jarak dari titik satu ketitik yang lain disesuaikan untuk mendapatkan hasil sampel yang akurat. Hasil yang didapat dari pengaplikasian *hammer test* belum merupakan nilai dari kuat tekan sampel. Oleh karena itu dilakukan kalibrasi terlebih dahulu dengan menggunakan grafik *hammer rebound*.



Gambar 9. Grafik *hammer rebound*.  
(Sumber; Manual book schmidt hammer NJ-80)

Perhitungan kalibrasi kuat tekan beton dengan menggunakan *hammer test* menggunakan mempertimbangkan:

a. Standar Deviasi

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X)^2}{n-1}} \dots\dots\dots(8)$$

Keterangan:

S = Standar deviasi

X<sub>i</sub> = Titik tengah

X = Rata-rata

n = Jumlah banyaknya data

b. Kuat Tekan Kubus ( $\sigma_{bk}$ )

$$\sigma_{bk} = \frac{\sum X_i}{n} - 1,6 \times s_{dv} \dots\dots\dots(9)$$

c. Kuat Tekan Silinder

Dalam perhitungan menggunakan ETABS vr. 20 digunakan dalam satuan Mpa pada kuat tekan beton, untuk mengubah kuat tekan karakteristik ( $\text{Kg/cm}^2$ ) menjadi kuat tekan beton (Mpa) maka dapat diambil 0,83 dari kuat tekan karakteristik sebagai perbandingan kedua benda uji untuk kebutuhan praktis.

$$f'_c = \sigma_{bk} \times 0,83 \dots\dots\dots(10)$$

2. *Hardness Tester* (Uji Kuat Tarik Baja)

Alat Pengukur Kekerasan atau *Hardness Tester* digunakan untuk mengukur kekerasan suatu benda atau material. Alat ini biasanya digunakan pada

industri manufaktur untuk mengetahui kekuatan dan kualitas suatu produk. *Hardness Tester* dapat digunakan pada berbagai jenis material seperti logam, plastik, karet, keramik, dan sebagainya. Pengukuran kekerasan dilakukan dengan menekan sebuah inti atau bola ke permukaan benda yang akan diukur, kemudian kekuatan yang dibutuhkan untuk menembus permukaan tersebut diukur dan dijadikan nilai kekerasan.

Salah satu jenis *Hardness Tester* yang umum digunakan adalah alat ukur kekerasan *Vickers* atau *Vickers hardness tester*. Alat ini menggunakan prinsip pembebanan kecil dan pengukuran diameter bekas inden untuk mengukur kekerasan benda. Alat ini sangat akurat dan biasanya digunakan untuk pengukuran kekerasan benda yang halus dan tipis. Alat ukur kekerasan juga tersedia dalam bentuk *portable* atau *handheld*, sehingga memudahkan pengguna untuk melakukan pengukuran di lapangan atau di lokasi yang sulit dijangkau. Alat ini biasanya menggunakan prinsip pembebanan kecil dan pengukuran kedalaman bekas inden untuk mengukur kekerasan benda.

#### E. Studi Literatur

1. *Floor Vibration Behavior of Car Park Structure Assessment of Different Steel Concrete Solution* (Zanon, R., 2019)

Penelitian Rikardo Zanon dilakukan untuk menganalisis perilaku getaran lantai di struktur parkir mobil yang terbuat dari komposit baja-beton. Penelitian tersebut membandingkan dua konfigurasi dengan tebal pelat dek yang berbeda dan dilihat dari sudut pandang statis dan dinamisnya. Untuk

konfigurasi A menyajikan *decking* baja dangkal dengan kedalaman 60 mm (tipe Cofraplus 60) yang dibuat komposit dengan beton bertulang kedalaman 70 mm di atas rusuk untuk total kedalaman 130 mm. Sedangkan untuk konfigurasi B digunakan *decking* baja sedalam 220 mm (tipe Cofraplus 220) dengan beton bertulang setebal 90 mm di atasnya. Dilakukan pemodelan elemen hingga dengan *software* SCIA Engineer. Dalam penelitian ini telah mempertimbangkan beban kendaraan yang berjalan di tengah jalur tengah dengan kecepatan tertentu. Beban yang bergerak direncanakan dalam rentang dari 18 km/jam hingga 90 km/jam. Kecepatan yang melebihi 20-30 km/jam di tempat parkir merupakan peristiwa yang agak tidak mungkin terjadi tetapi tetap dianggap sebagai perbandingan untuk menetapkan skenario batas atas. Di dapatkan faktor dampak dinamis untuk konfigurasi B lebih besar (1,25) dibandingkan dengan konfigurasi A (1,17) namun perpindahan dan amplitude getaran secara substansial lebih rendah (antara 35% dan 45%) dibandingkan konfigurasi A sehingga konfigurasi B lebih efisien dalam meredam getaran. Kriteria penerimaan getaran yang dipenuhi untuk kecepatan hingga 22 km/jam dapat di terima untuk Konfigurasi A dan 52 km/jam untuk Konfigurasi B, bahkan dengan asumsi yang cukup konservatif yang diambil untuk memperoleh hasil ini. Untuk kecepatan kendaraan di atas batas ini, kriteria penerimaan kenyamanan tidak lebih terjamin. Perlu diingat bahwa kriteria batasan kecepatan untuk tempat parkir mobil saat ini berada pada kisaran 20 km/jam, sehingga dapat dianggap bahwa gangguan getaran lantai dapat ditiadakan.

2. Analisis Kenyamanan Pelat Lantai Akibat Beban Mesin Bergetar (Renaldy, D. K., Sofia W.A., 2018)

Penelitian yang dilakukan guna menganalisis kenyamanan pada pelat lantai beton bertulang yang diakibatkan oleh mesin yang bergetar. Tiga buah model dilakukan untuk mendapatkan defleksi absolut maksimum dan frekuensi pelat untuk kemudian dimasukkan kedalam kriteria kenyamanan pelat. Model 1 merupakan sebuah pelat dengan ketebalan 12 cm yang diberikan beban gendot bergetar, model 2 merupakan sebuah pelat lantai dengan ketebalan 20 cm, model 3 dengan ketebalan pelat lantai 12 cm dan ditambahkan dengan balok anak yang searah dengan koordinat y. Menurut hasil plot dengan grafik standar yang digunakan oleh Batchman (1987) pelat dengan ketebalan 12 cm memiliki tingkat kenyamanan terburuk dengan frekuensi yang diberikan mesin gendot sebesar 25 Hz didapatkan defleksi maksimum sebesar 0,000416, pelat dengan ketebalan 20 cm didapatkan defleksi maksimum sebesar 0,0000307 dan pelat lantai tebal 12 cm dengan penambahan balok anak defleksi maksimumnya yaitu sebesar 0,000209. Sehingga disimpulkan bahwa tingkat kenyamanan yang paling baik berada di model 3

### III. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini metode yang digunakan berupa metode eksperimental dengan menggunakan alat akselerometer sebagai alat pengukur getaran mekanis yang dihasilkan oleh mobil dalam kondisi diam dengan mesin menyala/ *steady state machine* dan pemodelan yang dilakukan dengan metode numerik menggunakan aplikasi *software* ETABS vr. 20

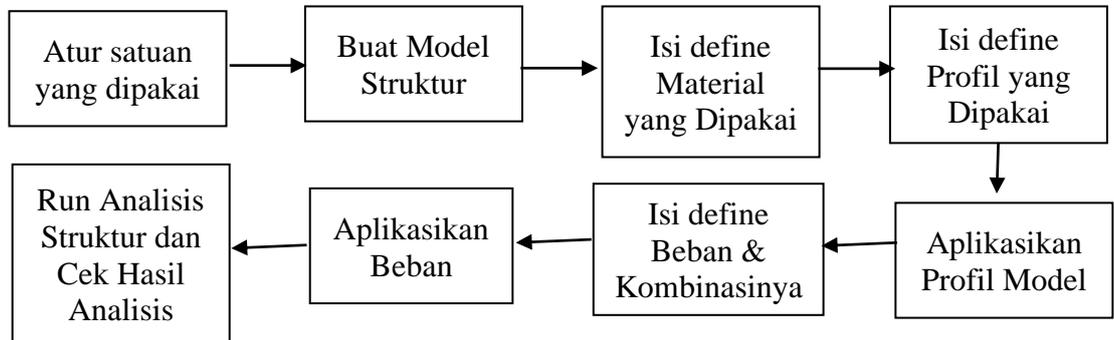
#### A. Metode Eksperimental

Metode ini dilakukan dengan investigasi lapangan/*survey* lapangan yang bertujuan untuk memperoleh data dilapangan atau pengamatan visual dan koreksi data. Pengamatan ini dilakukan dalam menentukan mutu dari pelat, balok dan kolom pada kondisi terkini. Untuk mendapatkan mutu tersebut maka dilakukan Uji *Non Destructive* (tanpa merusak) dengan menggunakan alat *Hammer Test* dan *Hardness Tester*. Selain pengujian data struktur, dilakukan pula pengambilan data getaran dengan menggunakan alat akselerometer di lantai 3 area parkir *Mall* Bumi Kedaton.

#### B. Metode Numerik

Pemodelan struktur area parkir di *Mall* Bumi Kedaton Bandar Lampung akan dilakukan dengan menggunakan aplikasi *software* ETABS vr 20. Dalam pembuatannya diperlukan data struktur dari hasil survei yang dilakukan sehingga diperoleh hasil berupa frekuensi dan akselerasi. Hasil tersebut dapat menentukan apakah area parkir pada bangunan masih aman dan nyaman untuk

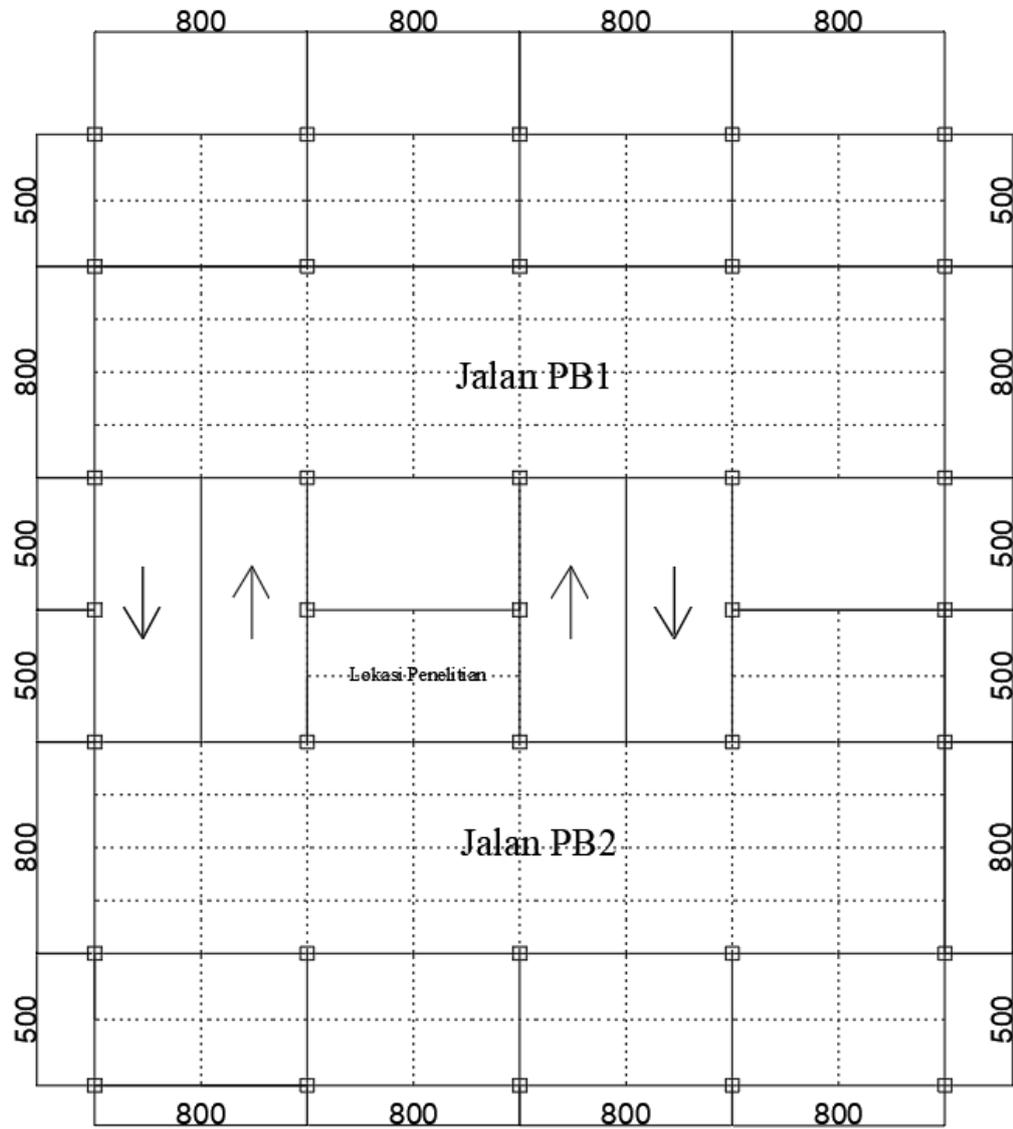
dipergunakan atau tidak. Dalam pemodelan menggunakan ETABS vr. 20 dilakukan beberapa tahapan. Berikut adalah gambar 9 diagram pemodelan menggunakan ETABS vr. 20:



Gambar 10. Diagram pemodelan menggunakan ETABS vr. 20

Jika dalam perhitungan getaran tidak sesuai pada standar ISO 2631-2, 2022 maka akan diberikan alternatif solusi dalam penanggulangannya terhadap getaran mekanis yang diterima oleh struktur bangunan tersebut.

## C. Lokasi Pengujian

Lantai 3 area parkir *Mall Bumi Kedaton*

Gambar 11. Lokasi penelitian

## D. Alat

Gambar 12. *Hardness tester*Gambar 13. *Hammer test*Gambar 14. *Akselerometer*



Gambar 15. Timbangan kontainer mobil



Gambar 16. Jangka sorong



Gamvar 17. Meteran



Gambar 18. Pemukul *rubber*

#### E. Teknik Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan melalui teknik pengumpulan data merupakan data primer yang perlu diolah lagi agar menjadi hasil yang dapat digunakan dalam pembuatan pemodelan pada aplikasi software ETABS vr. 20. Pengolahan data dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

##### 1. Pengambilan Data Struktur dan Kendaraan

Pengambilan data struktur dilakukan dengan menggunakan alat *hammer test* dan *hardness tester*, sedangkan data kendaraan akan diambil dengan cara menimbang kendaraan dengan timbangan *container* barang untuk mendapatkan data yang real.

##### 2. Pengambilan Data Getaran

Dilakukan 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 awal dan puncak), kondisi awal saat

parkiran tidak ramai aktivitas dari jam 06.00 – 08.00 pagi dan kondisi puncak pada jam 17.00- 18.00 sore. Kondisi tersebut digunakan untuk membedakan anatar kondisi untuk pemodelan dan kondisi real (terjadi dilapangan). Tujuh skenario diterapkan pada 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. Digunakan standar ISO 2631-2, 2022 untuk kenyamanan dan kemungkinan kerusakan akibat getaran yang terjadi pada pelat dan balok. Data yang didapat berupa akselerasi arah x, y, z, frekuensi dan amplitudo getaran dari perlakuan yang diberikan. Sedangkan untuk mendapatkan hasil natural frekuensinya dilakukan dengan memukul bagian tengah pelat dengan alat pukul *rubber*.

#### F. Tahap Pelaksanaan Penelitian

1. Mengecek kekuatan struktur (pelat) menggunakan alat *Hammer Test*
  - a. Ujung *plunger* yang terdapat pada ujung alat *hammer test* diletakan pada titik yang akan diuji dengan memegang *hammer test* dengan vertikal kebawah untuk pelat yang akan dites.
  - b. *Plunger* ditekan secara perlahan-lahan pada titik tumpu dengan tetap menjaga kestabilan arah dari alat *hammer test*. Pada saat

ujung *plunger* sudah masuk akan terjadi tembakan oleh *plunger* terhadap beton dan tekan tombol yang terdapat dekat pangkal *hammer test*.

- c. Pengetesan dilakukan terhadap masing-masing titik tembak yang telah ditetapkan semula dengan cara yang sama.
- d. Garis vertikal ditarik dari nilai pantul yang dibaca pada grafik *hammer test* yaitu hubungan antara nilai pantul dengan kekuatan tekan beton yang terdapat pada alat *hammer* sehingga memotong kurva yang sesuai dengan sudut tembak *hammer*.
- e. Besar kekuatan tekan beton yang dites dapat dibaca pada sumbu vertikal yaitu hasil perpotongan garis horizontal dengan sumbu vertikal.

2. Mengecek kuat tarik struktur (balok) menggunakan *Hardness Tester*

Peralatan yang digunakan untuk melakukan test terdiri dari :

Satu buah *pen hammer*, satu buah alat kalibrasi, dan satu buah alat pembaca kuat tarik ultimate baja

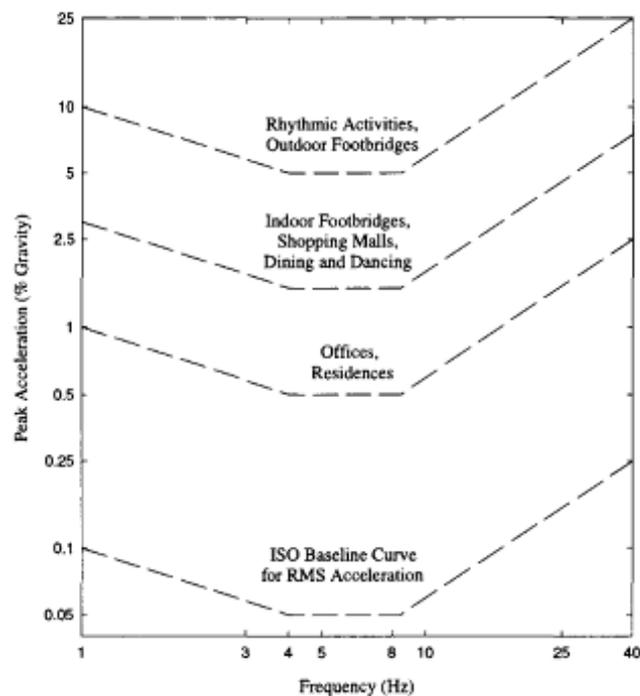
- a. Percobaan dilakukan dengan mengkalibrasi alat menggunakan alat kalibrasi
- b. Hidupkan alat pembaca, setelah itu pantulkan pen pada alat kalibrasi dengan mendorong bagian badan menurun bawah sampai terdengar suara pantulan, lalu baca hasil kalibrasi
- c. Terapkan hal yang sama terhadap balok yang ingin dilakukan percobaan
- d. Percobaan dilakukan 10 titik di setiap balok anak dan induk

- e. Hasil yang didapat masih berupa  $f_u$  yang nantinya akan disesuaikan dengan  $f_y$
3. Melakukan pengukuran getaran dinamis dengan menggunakan *vibrationmeter*, adapun cara pengukuran yaitu:
    - a. Digunakan dua alat sensor (*accelerometer*) pada penelitian ini
    - b. *Accelerometer* 1 diletakan pada bagian tengah balok induk searah x dan *accelerometer* 2 diletakan pada bagian tengah pelat diantara ketiga kendaraan yang bergetar.
    - c. Menepatkan dan mengunci alat agar alat tidak bergoyang, setelah itu disambungkan dengan menggunakan *Bluetooth* terhadap alat *vibrationmeter*.
    - d. Pengaturan terhadap alat *vibrationmeter* dengan mengubah grafik menjadi arah x, y dan z.
    - e. Setelah itu ketika pegujian penekanan tombol start dan didiamkan selama 1 menit.
    - f. Setelah selesai, alat tersebut akan mencatat berapa frekuensi, akselerasi dan amplitudo getaran yang ditimbulkan. Lalu dilakukan penyimpanan data pada alat tersebut yang nantinya data tersebut akan diolah menggunakan aplikasi *Logger pro*.

#### G. Pengelolaan data

Data yang didapat dari hari eksperimental dan pengamatan visual di lapangan dengan menggunakan alat *Hammer Test*, *Hardness Tester* dan akselerometer akan dilakukan kalibrasi terlebih dahulu. Setelah itu data tersebut akan diolah

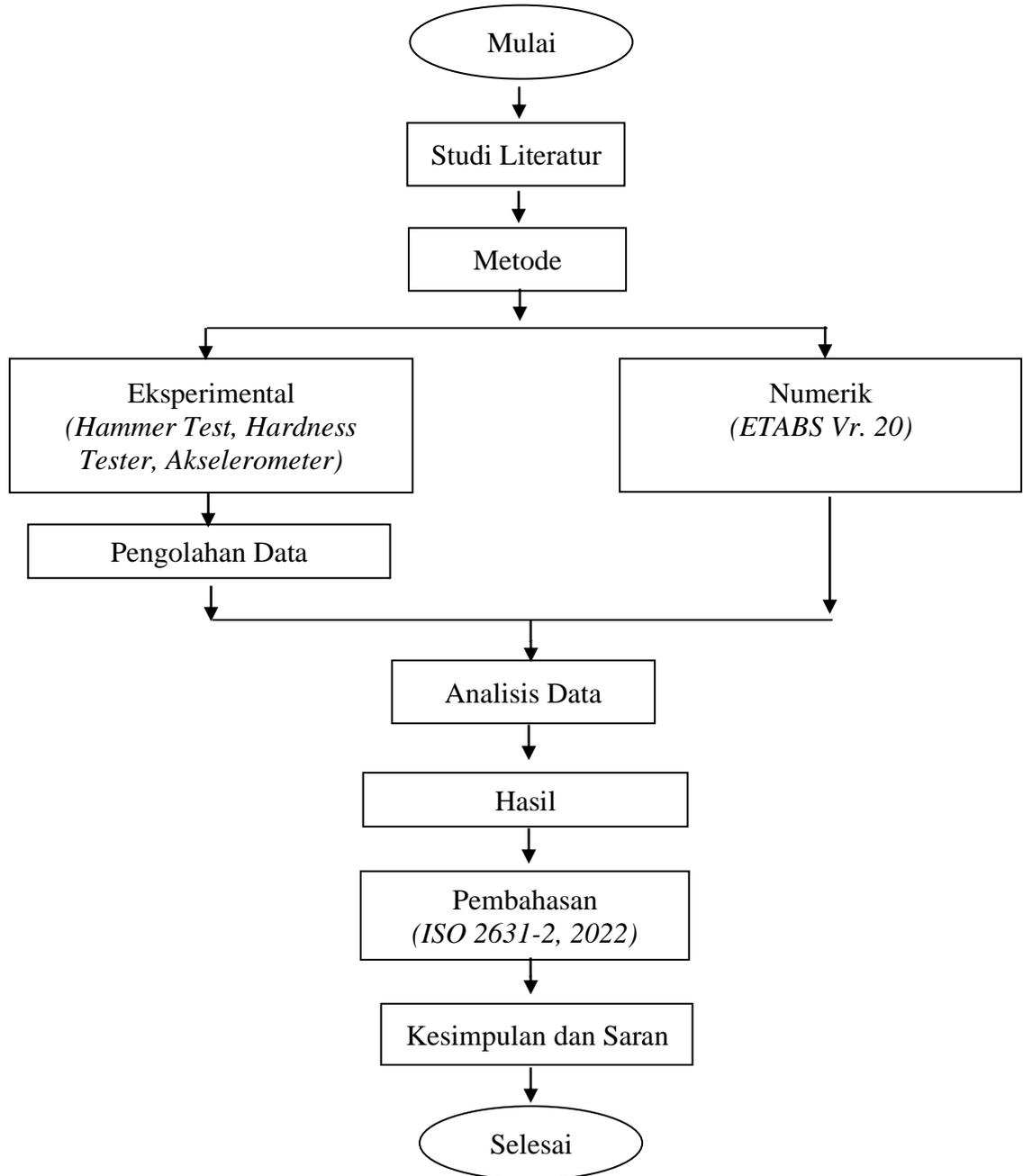
sebagai data hasil dari lapangan. Hasil yang didapat akan dilakukan analisis dengan menggunakan ETABS vr. 20 sebagai pebandingan antara perhitungan di lapangan dengan perhitungan numerik yang menggunakan program. Standarisasi untuk tingkat kenyamanan pada struktur bangunan gedung parkir menggunakan ISO 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 19).



Gambar 19. Kurva puncak percepatan yang disarankan untuk kenyamanan manusia terhadap vibrasi.

(Sumber: Allen dan Thomas , 1993; ISO 2631-2, 2022).

## H. Diagram Alur Penelitian



Gambar 20. Diagram alur penelitian

## V. PENUTUP

### A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan secara ekperimental dan numerik didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan beban statis dan dinamis saat kondisi awal (tidak adanya aktivitas) pada pelat dapat menurunkan frekuensi natural dan menaikkan akselerasi pada pelat.
2. Pada kondisi puncak (ramainya aktivitas) perilaku penurunan frekuensi akibat penambahan beban statis sama halnya dengan kondisi awal (tidak adanya aktivitas). Tetapi penambahan getaran dimais pada kondisi puncak 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 33% sedangkan arah x menaikkan frekuensi natural 18% dan menurunkan akselerasi 27%.

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.

## B. Saran

Berikut adalah saran yang diberikan sesuai dengan penelitian yang telah dilaksanakan:

1. Dalam pengujian *Hammer Test* dan *Hardness Tester* dilakukan dengan lebih teliti lagi agar data yang di dapat lebih akurat.
2. Pada saat pengambilan data getaran diusahakan dalam keadaan yang tidak bising sehingga tidak ada getaran lain yang terekam oleh alat hanya fokus terhadap getaran pada mesin.
3. Pemodelan yang dilakukan dalam penelitian ini hanya dalam keadaan diam (statis) dan bergetar (*steady state machine*). Disarankan untuk penelitian selanjutnya dilakukan penambahan beban dimanis (bergerak) untuk mengetahui kondisi asli pada model dengan beragam skenario lainnya.
4. Perlunya diadakan penelitian lanjutan dalam penambahan kekakuan dengan metode lain pada struktur.
5. Disarankan untuk penelitian selanjutnya menggunakan aplikasi yang khusus untuk permodelan pada pelat dan balok saja, sehingga persentase perbandingan hasil analisis dan lapangan dapat lebih baik lagi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Allen, D. E. and Thomas, M. M. 1993. *Design criterion for vibrations due to walking*. *American Institute of Steel Construction*, 30 (93), 117–129.
- Bachroni, C. B. 2015. *Penanggulangan Getaran Pada Pelat Lantai Beton Bertulang*. *Jurnal Permukiman*, 10 (1), 1–10.
- Bachmann, H. and Ammann, W. J. 1987. *Vibrations in Structure Induced by Man and Machines*. *International Association for Bridge and Structural Engineering*. Zurich.
- Chakraverty, S. 2009. *Vibrations of Plates*. New York: CRC Press.
- Dipohusodo, I. 1996. *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta. Gramedia Pustaka Utama.
- Fastaria, R. dan Putri, Y. E. 2014. *Analisa Perbandingan Metode Halfslab dan Plat Komposit Bondek Pekerjaan Struktur Plat Lantai Proyek Pembangunan Tamansari Surabaya*. *Jurnal Teknik Pomitas*, 2 (2), 41- 46.
- Gambar Sistem Plelat Konvensional. <https://asiacon.co.id/blog/pengertian-dan-fungsi-plat-lantai-beton>
- Hayu, G. A., Aziz, A. M., dan Arifin, S. 2019. *Analisis Kapasitas Balok Komposit dengan Penghubung Geser Kanal Baja Menggunakan Program Bantu Elemen Hingga*. *In Proc. Konferensi Nasional Teknik Sipil Ke-13*, 1 (2), 2–

ISO 2631. 2022. *Mechanical Vibration and Shock Evaluation of Human Exposure to Whole-body Vibration.*

Karyasa, T. B. 2011. *Dasar-dasar Getaran Mekanis.* Andi. Yogyakarta.

Renaldy, D. K. dan Sofia, W. A. 2018. *Analisis Kenyamanan Pelat Lantai Akibat Beban Mesin Bergetar.* *Jurnal Muara Sains, Teknologi Kedokteran dan Ilmu Kesehatan*, 2 (1), 87-89.

Leissa, A. W. and Qatu, M. S. 2011. *Vibrations of Continuous Systems.* New York, McGraw Hill.

Morib, M. A. 2018. *Peningkatan Frekuensi Alami Struktur Dengan Variasi Penempatan Dinding Geser.* *Jurnal Rancang Bangunan Teknik Sipil*, 2 (1), 44-51. Yogyakarta

Murray, T. M., David, E. A., and Eric, E. U. 2003. *Floor Vibration Due to Human Activity.* *Steel Design Guide Series No. 1, American Institute of Steel Construction.* Chicago.

Nawi, E. G. 1990. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar.* Penerbit Erlangga. Jakarta.

Oktopianto, Y. dan Kartini, H. 2010. *Precast Concrete.* *Teknologi Bahan Konstruksi.*

Picauly, F., Henricus, P., Bambang, S., Andreas, T. 2017. *Influence of Vibration of Human Activity Upon A Simple Supported Slab with Tuned Mass Damper (TMD) and Fiber Reinforced Rubber (FRR) Absorber.* Indonesia. *Procedia Engineering*, 171, 1186-1193.

- Prakash, S. and Puri, V. 2006. *Foundation for vibrating machines. The Journal of Struktural Engginering*. SERC. Madras. India April- May.
- Rao, S. S. 2011. *Mechanical Vibration. Department of Mechanical and Aerospace Engineering. The University of Miami*.
- Rao, S. S. 2007. *Vibration of Continous System. Department of Mechanical and Aerospace Engineering. The University of Miami*.
- Rozi, M. F. 2016. *Pengaruh Panjang Daerah Pemasangan Shear Connector pada Balok Komposit Terhadap Kuat Lentur. Rekayasa Teknik Sipil*, 2 (2), 1-7.
- Schmidt, E. O., 1954, *Manual Book Hammer NJ-80*.
- Smith, A. L., Hicks, S. J., Devine, P. J. 2009. *Design to Prevent Floor Vibration. The Steel Contraction Institute*.
- SNI 1726. 2019. *Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*
- SNI 1727. 2020. *Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*
- Wang, C. K., and Salmon, C. G. 1979. *Reinforced Concrete Design Third Edition*. New York: *Harper International Edition*.
- Widhiawati, I. A. R., Yana, A. A., dan Asmara, A. A. 2010. *Analisa Biaya Pelaksanaan Antara Pelat Konvensional dan Sistem Pelat Menggunakan Metal Deck. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 14 (1), 20-27.
- Zanon, R. 2019. *Floor Vibration Behavior Of Car Park Structure Assessment Of Different Steel Concrete Solutions. ECCOMAS Thematic Conference on*

*Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering.*

Zheng, Y. K., Yuan, T. L., Ging, L. L., and Chi, C. L. 2017. *Reduction of Floor Vibration Due to Human Activity by Multiple Tuned Mass Dampers*. Seoul. *Structural Engineering and Mechanics*.