

**EVALUASI KELAYAKAN BANGUNAN PABRIK DENGAN STRUKTUR
BAJA TERHADAP GETARAN MESIN**

(Skripsi)

Oleh

APRILIA LESTARI WIJAYA

NPM 1715011027



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2022

ABSTRAK

EVALUASI KELAYAKAN BANGUNAN DENGAN STRUKTUR BAJA TERHADAP GETARAN MESIN

Oleh

APRILIA LESTARI WIJAYA

Pada umumnya perencanaan suatu bangunan pabrik memiliki beberapa faktor yang harus diperhatikan. Salah satunya adalah faktor kenyamanan dan kelayakan bangunan yang seringkali kurang diperhatikan dalam proses perencanaan bangunan. Pada bangunan pabrik biasanya terdapat mesin yang beroperasi sehingga menimbulkan getaran yang berakibat pada kelayakan struktur bangunan.

Penelitian ini mengevaluasi bangunan struktur baja akibat beban mesin *Crusher* yang beroperasi dengan menggunakan metode eksperimental dan metode numerik. Metode eksperimental dilakukan dengan mengambil data menggunakan alat *accelerometer* sedangkan metode numerik dilakukan dengan menganalisis pemodelan bangunan menggunakan program ETABS. Penelitian ini dilakukan pada bangunan pabrik yang terletak di Desa Tarahan, Kecamatan Katibung, Kota Lampung Selatan, Provinsi Lampung. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kelayakan bangunan pabrik akibat getaran mesin berdasarkan nilai *acceleration*, frekuensi alami dan *displacement* serta memberikan solusi terhadap permasalahan yang diakibatkan oleh getaran mesin pada struktur baja. Peraturan yang digunakan pada penelitian ini antara lain ISO 2631-2: 1989 dan Steel Design Guide 11th Series “Floor Vibration Due to Human Activity”.

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa nilai *acceleration*, frekuensi alami dan *displacement* yang diperoleh dari metode eksperimental dan metode numerik belum memenuhi syarat kelayakan bangunan karena nilai *acceleration* <5% gravitasi, nilai frekuensi tidak berada pada nilai 4-8 Hz serta termasuk dalam kategori sangat mengganggu. Selain itu, terdapat selisih hasil dari metode eksperimental dengan metode numerik. Hal ini terjadi karena pada metode numerik bangunan dimodelkan berdasarkan *as built drawing* sedangkan pada metode eksperimental data diambil saat bangunan sudah digunakan dalam beberapa tahun, dimana bangunan sudah mengalami penurunan mutu dan juga kemungkinan terjadinya *fatigue* karena beban berulang. Oleh karena itu, diperlukan perkuatan dengan mengubah dimensi balok utama agar nilai *acceleration* memenuhi syarat kenyamanan bangunan. Setelah dilakukan perkuatan nilai *acceleration* yang diperoleh <5% gravitasi dan nilai *displacement* sudah memenuhi syarat kenyamanan bangunan sehingga bangunan sudah dikatakan nyaman dan layak.

Kata Kunci : Acceleration, Frekuensi alami, Displacement, Getaran, Kelayakan.

ABSTRACT

FEASIBILITY EVALUATION OF BUILDING WITH STEEL STRUCTURE CAUSED MACHINE VIBRATION

By

APRILIA LESTARI WIJAYA

In general, the planning of a factory building has several factors that must be considered. One of them is the factor of comfort and feasibility of the building which is often not considered in the building planning process. In factory buildings there are usually machines that operate so that cause vibrations which result in the feasibility of the building structure.

This study evaluates steel structure buildings due to crusher machine loads that operate using experimental methods and numerical methods. The experimental method is carried out by taking data using an accelerometer while the numerical method is carried out by analyzing building modeling using the ETABS program. This research was conducted in a factory building located in Tarahan Village, Katibung District, South Lampung City, Lampung Province. The purpose of this study was to determine the feasibility of factory buildings due to machine vibration based on the values of acceleration, natural frequency and displacement and provide solutions to problems caused by machine vibration in steel structures. The regulations used in this study include ISO 2631-2: 1989 and the Steel Design Guide 11th Series "Floor Vibration Due to Human Activity".

Based on the results of the study, it can be concluded that the acceleration, natural frequency and displacement values obtained from experimental methods and numerical methods do not meet the building feasibility requirements because the acceleration value is $<5\%$ gravity, the frequency value is not in the 4-8 Hz value and is included in the very disturbing category. In addition, there are differences in the results of the experimental method with the numerical method. This happens because the numerical method of the building is modeled based on as built drawings, while in the experimental method the data is taken when the building has been in use for several years, where the building has experienced a decline in quality and also the possibility of fatigue due to repeated loads. Therefore, reinforcement is needed by changing the dimensions of the main beam so that the acceleration value meets the building comfort requirements. After strengthening the acceleration value obtained $<5\%$ gravity and the displacement value has met the building comfort requirements so that the building is said to be comfortable and feasible.

Keywords: Acceleration, Frequency, Displacement, Vibration, Feasibility.

**EVALUASI KELAYAKAN BANGUNAN PABRIK DENGAN STRUKTUR
BAJA TERHADAP GETARAN MESIN**

**Oleh
APRILIA LESTARI WIJAYA**

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Program Studi S1 Teknik Sipil
Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

Judul Skripsi

**: EVALUASI KELAYAKAN BANGUNAN
PABRIK DENGAN STRUKTUR BAJA
TERHADAP GETARAN MESIN**

Nama Mahasiswa

: Aprilia Testari Wijaya

Nomor Pokok Mahasiswa : 1715011027

Program Studi

: S1 Teknik Sipil

Fakultas

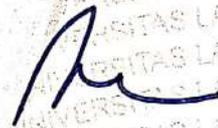
: Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing



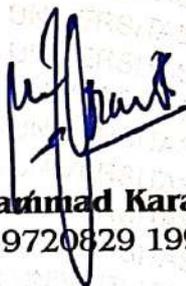
Ir. Fikri Alami, S.T., M.Sc., M.Phil.
NIP 19720308 199802 1 004



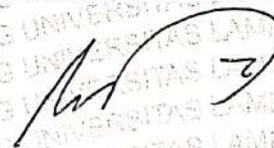
Dr. Eng. Ir. Ratna Widyawati, S.T., M.T., IPM.
NIP 19710605 199512 2 001

2. Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil

3. Ketua Jurusan Teknik Sipil



Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP 19720829 199802 1 001



Ir. Laksmi Irianti, M.T.
NIP 19620408 198903 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: Ir. Fikri Alami, S.T., M.Sc., M.Phil.



Sekretaris

: Dr. Eng. Ir. Ratna W., S.T., M.T., IPM.



Penguji

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



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.

NIP. 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 28 Juni 2022

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi dan data-data yang ada didalam tugas akhir yang berjudul "*Evaluasi Kelayakan Bangunan Pabrik Dengan Struktur Baja Terhadap Getaran Mesin*" adalah bagian dari penelitian Dosen Pembimbing Utama, Bapak Ir. Fikri Alami, S.T., M.Sc., M.Phil.
2. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
3. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang diberikan kepada saya sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 21 Juli 2022

Mengetahui,
Dosen Pembimbing Skripsi



Ir. Fikri Alami, S.T., M.Sc., M.Phil.
NIP. 197203081998021004

Mahasiswa



Aprilia Lestari Wijaya
NPM. 1715011027

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Aprilia Lestari Wijaya. Penulis dilahirkan di Lampung Tengah pada tanggal 10 April 1999, merupakan anak tunggal dari pasangan Alm. Bapak Andi Wijaya dan Ibu Emi Astuti. Penulis memulai jenjang pendidikan dari Pendidikan Taman Kanak-Kanak di TK Albaqiyatus shalihat yang diselesaikan pada tahun 2005, kemudian melanjutkan pendidikan tingkat dasar di SD Negeri 2 Cisoka yang diselesaikan pada tahun 2011, lalu dilanjutkan pendidikan tingkat pertama di SMP Negeri 1 Cisoka yang diselesaikan pada tahun 2014, dan dilanjutkan menempuh pendidikan tingkat atas di SMA Negeri 1 Kabupaten Tangerang yang diselesaikan pada tahun 2017.

Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Program Studi S-1 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung pada tahun 2017 melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN). Selama menjadi mahasiswa, penulis berperan aktif di dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Lampung (HIMATEKS UNILA) sebagai anggota Departemen Penelitian dan Pengembangan Periode 2018/2019, kemudian di periode selanjutnya yaitu pada 2019/2020 penulis menjabat sebagai Sekretaris Departemen Penelitian dan Pengembangan HIMATEKS UNILA.

Dalam pengaplikasian ilmu di bidang Teknik Sipil, penulis juga telah melaksanakan Kerja Praktik di Proyek Pembangunan Gedung B Rumah Sakit Umum Muhammadiyah Metro selama 3 bulan dari bulan Agustus-November 2020. Penulis telah mengikuti Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Pete, Kecamatan Tigaraksa, Kabupaten Tangerang selama 40 hari dalam periode II tahun 2020. Penulis juga pernah menjadi Asisten Dosen untuk mata kuliah Mekanika Fluida, Hidrologi dan Analisis Statis Tak Tentu. Penulis mengambil tugas akhir dengan judul “Evaluasi Kelayakan Bangunan Pabrik dengan Struktur Baja Terhadap Getaran Mesin”.

PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirabbilalamin Puji syukur kepada Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini.

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

Papa dan Mama yang sangat saya cintai. Terima kasih atas semua pengorbanan kalian yang tidak pernah bisa April balas. Terima kasih karena telah merawat, membimbing dan memberikan arahan serta nasihat yang bermanfaat. Terima kasih atas semua do'a yang telah Papa dan Mama panjatkan untuk April. Semoga Allah SWT selalu memberikan Papa dan Mama kebahagiaan dunia dan akhirat.

Keluarga besarku, nenek, tante dan sepupu-sepupuku yang selalu memberikan semangat dan motivasi. Terima kasih juga atas semua dukungan dan do'anya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Sahabat serta teman-temanku, yang telah menemani, mendengar keluh kesah, memberi kritik, saran dan selalu menyemangatiku selama ini.

Semua dosen yang telah mengajarkan, memberikan ilmu, arahan serta bimbingannya.

Teknik Sipil Universitas Lampung angkatan 2017 yang telah memberikan bantuan, kritik, saran, dan motivasi selama masa perkuliahan.

MOTTO

“... Boleh jadi kamu tidak menyenangi sesuatu, padahal itu baik bagimu, dan boleh jadi kamu menyukai sesuatu, padahal itu tidak baik bagimu. Allah mengetahui, sedang kamu tidak mengetahui.”

(QS. Al-Baqarah: 216)

“Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila kamu telah selesai (dari suatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain, dan hanya kepada Tuhanmulah hendaknya kamu berharap”

(QS. Al-Insyirah: 6-8)

“Agar kamu tidak bersedih hati terhadap apa yang luput dari kamu dan tidak pula terlalu gembira terhadap apa yang diberikan-Nya kepadamu. Dan Allah tidak menyukai terhadap orang yang sombong dan membanggakan diri”

(QS. Al-Hadid: 23)

“We all make mistakes, have struggles, and even regret things in our past. But you are not your mistakes, you are not your struggles, and you are here now with the power to shape your day and your future.”

(Steve Maraboli)

“Be thankful for what you have; you’ll end up having more. If you concentrate on what you don’t have, you will never, ever have enough.”

(Oprah Winfrey)

SANWACANA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah senantiasa memberikan rahmat dan anugrah-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Evaluasi Kelayakan Bangunan Pabrik Dengan Struktur Baja Terhadap Getaran Mesin”** dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Universitas Lampung.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
2. Ibu Ir. Laksmi Irianti, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung.
3. Bapak Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Lampung.
4. Bapak Ir. Fikri Alami, S.T., M.Sc., M.Phil., selaku Dosen Pembimbing Utama atas kesediaannya untuk memberikan bimbingan, arahan, ide-ide dan saran serta kritik dalam proses penyusunan skripsi ini.
5. Ibu Dr. Eng. Ir. Ratna Widyawati, S.T., M.T., IPM., selaku Dosen Pembimbing kedua atas kesediaannya untuk memberikan bimbingan, arahan, ide-ide dan saran serta kritik dalam proses penyusunan skripsi ini
6. Ibu Vera Agustiana Noorhidana, S.T., M.T., Ph.D., selaku Dosen Penguji yang telah memberikan saran dan arahan kepada penulis dalam penyempurnaan skripsi ini.
7. Bapak Ir. Fikri Alami, S.T., M.Sc., M.Phil., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah banyak membantu penulis selama perkuliahan.
8. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Sipil yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan kepada penulis serta seluruh karyawan jurusan atas

bantuannya kepada penulis selama menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

9. Kedua orang tua tercinta, Ayah saya Alm. Andi Wijaya dan Ibu Emi Astuti yang telah dengan tulus, penuh kasih sayang dan kesabaran memberikan dorongan, dukungan, nasihat serta do'a yang tidak pernah putus sehingga penulis dapat menyelesaikan segala proses perkuliahan di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lampung.
10. Saudara-saudara sepupu tersayang yang selalu memberikan semangat dan dukungan dalam menyelesaikan skripsi ini.
11. Sahabat-sahabatku tersayang Masrifatun Fadzilah, Risa Kurniawati, Hastari Agnestiananda Tranggono, Muhamad Rifai, Adzra Hana Nabila, dan yang lainnya yang selalu membantu penulis dan telah menemani berbagi suka dan duka.
12. Saudara-saudaraku Teknik Sipil Universitas Lampung angkatan 2017 yang berjuang bersama serta berbagi kenangan, pengalaman dan membuat kesan yang tak terlupakan, serta kakak tingkat penulis yang telah memberikan dukungan dan arahnya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan, namun penulis berharap semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi semua pihak yang memerlukan, khususnya bagi penulis pribadi.

Bandar Lampung, 1 Maret 2022
Penulis,

Aprilia Lestari Wijaya

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Batasan Masalah	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Sistem Struktur.....	5
2.2. Struktur Rangka Baja.....	6
2.3. Pembebanan Struktur	7
2.4. Beban Siklik.....	9
2.5. Beban Dinamis.....	11
2.6. Getaran.....	12
2.7. Getaran Bebas	14
2.8. Frekuensi Alami (<i>Natural Frequency</i>).....	15
2.9. Simpangan Antar Lantai (<i>Story Drift</i>)	16
2.10. Baku Tingkat Getaran.....	17
2.11. Standar Kenyamanan Manusia Terhadap Getaran	18
2.12. Getaran Akibat Mesin.....	19
2.13. Fast Fourier Transform (FFT)	21
III. METODE PENELITIAN.....	22
3.1. Lokasi Penelitian.....	22
3.2. Metode Eksperimental	23
3.3. Metode Numerik	23
3.4. Alat.....	24
3.5. Prosedur Penelitian	25
3.6. Diagram Alir Penelitian	29
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	30
4.1. Data Struktur Gedung	30
4.1.1. Spesifikasi Material	30

4.1.2. Data Elemen Struktur	30
4.2. Metode Eksperimental	32
4.2.1. Data Penelitian <i>Accelerometer</i> Pada Balok	33
4.2.2. Data Penelitian <i>Accelerometer</i> Pada Kolom	43
4.2.3. Analisis Tingkat Kelayakan Bangunan	55
4.2.4. Analisis Simpangan Antar Lantai (<i>Story Drift</i>)	57
4.3. Metode Numerik	58
4.3.1. Pemodelan Struktur yang Menerima Beban Mesin pada ETABS untuk Menentukan Amplitudo	59
4.3.2. Perbandingan Hasil Gaya-Gaya Metode Numerik dengan Metode Eksperimental	62
4.3.3. Pemodelan Struktur	63
4.3.4. Pembebanan Struktur	63
4.3.5. Kombinasi Pembebanan	66
4.3.6. Analisis Dinamis Struktur	67
4.3.7. Hasil Analisis Dinamis Struktur	75
4.3.8. Analisis Simpangan Antar Lantai (<i>Story Drift</i>)	80
4.3.9. Hasil Perbandingan Metode Eksperimental dengan Metode Numerik	81
4.4. Perkuatan dengan Mengubah Dimensi Balok Induk	82
4.5. Hasil Perbandingan Setelah Perkuatan dan Tanpa Perkuatan	87
V. PENUTUP	89
5.1. Kesimpulan	89
5.2. Saran	90
DAFTAR PUSTAKA	91
LAMPIRAN A (LANGKAH-LANGKAH Pengerjaan Program ETABS)	
LAMPIRAN B (LANGKAH-LANGKAH Pengerjaan Program LOGGER PRO)	
LAMPIRAN C (DATA HASIL ALAT ACCELEROMETER)	
LAMPIRAN D (DATA HASIL ANALISIS ETABS)	
LAMPIRAN E (GAMBAR KERJA)	

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1. Batasan Simpangan Antar Lantai	17
4.1. Jenis dan Dimensi Profil Baja Untuk Kolom.	31
4.2. Jenis dan Dimensi Profil Baja Untuk Balok.	31
4.3. Jenis dan Dimensi Profil Baja Untuk Rangka Atap.	32
4.4. Data Hasil Metode Eksperimental Pada Balok di Lantai 1 Saat Mesin Diam.....	54
4.5. Data Hasil Metode Eksperimental Pada Balok di Lantai 2 Saat Mesin Menyala.....	54
4.6. Data Hasil Metode Eksperimental Pada Balok di Lantai 3 Saat Mesin Menyala.....	54
4.7. Data Hasil Metode Eksperimental Pada Kolom di Lantai 1.	55
4.8. Data Hasil Metode Eksperimental Pada Kolom di Lantai 2.	55
4.9. Data Hasil Metode Eksperimental Pada Kolom di Lantai 3.	55
4.10. Hasil Analisis Simpangan Antar Lantai Arah X Metode Eksperimental.....	57
4.11. Hasil Analisis Simpangan Antar Lantai Arah Y Metode Eksperimental.....	58
4.12. Perbandingan Hasil Gaya-Gaya Metode Numerik dengan Metode Eksperimental.	62
4.13. Hasil <i>Acceleration</i> dan Frekuensi Alami Balok di lantai 2 Dari Program ETABS.....	75
4.14. Hasil <i>Acceleration</i> dan Frekuensi Alami Balok di lantai 3 Dari Program ETABS.....	75
4.15. Nilai <i>Acceleration</i> dan Frekuensi Alami Kolom di lantai 1 Dari Program ETABS.....	75
4.16. Nilai <i>Acceleration</i> dan Frekuensi Alami Kolom di lantai 2 Dari Program ETABS.....	76

4.17. Nilai <i>Acceleration</i> dan Frekuensi Alami Kolom di lantai 3 Dari Program ETABS.....	76
4.18. Nilai <i>Displacement</i> di Lantai 2 dari Hasil Program ETABS.	76
4.19. Nilai <i>Displacement</i> di Lantai 3 dari Hasil Program ETABS.	76
4.20. Hasil Analisis Simpangan Antar Lantai Arah X Metode Numerik.....	80
4.21. Hasil Analisis Simpangan Antar Lantai Arah Y Metode Numerik.....	81
4.22. Perbandingan Hasil Perhitungan Metode Numerik dengan Metode Eksperimental saat Mesin Beroperasi.....	81
4.23. Perbandingan Hasil Perhitungan Metode Numerik dengan Metode Eksperimental saat Mesin Diam.	82
4.24. Nilai <i>Acceleration</i> , Frekuensi Alami dan <i>Displacement</i> Arah Vertikal Pada Balok Setelah Perkuatan.	85
4.25. Perbandingan Nilai <i>Acceleration</i> , Frekuensi Alami dan <i>Displacement</i> pada Balok Arah Vertikal Setelah Perkuatan dan Tanpa Perkuatan.	88

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1.1. Tampak bagian samping bangunan.....	2
1.2. Tampak bagian depan bangunan.....	3
2.1. Sistem bangunan struktur baja.....	6
2.2. <i>Full Reversal Stress</i>	9
2.3. <i>Pulsating Tension Stress</i>	10
2.4. <i>Reversing/Alternating Stress</i>	10
2.5. <i>Fluctuating Stress</i>	10
2.6. <i>Static Load Stress</i>	11
2.7. Pola getaran beban dinamis.....	12
2.8. Penentuan simpangan antar lantai.....	16
2.9. Batas akselerasi yang disarankan untuk kenyamanan manusia terhadap getaran.....	19
2.10. Tingkat kenyamanan berdasarkan <i>displacement</i> dan frekuensi.....	21
3.1. Denah lantai 2 bangunan.....	22
3.2. <i>Accelerometer</i> untuk pengujian akselerasi pada struktur bangunan.....	24
3.3. Denah penempatan lokasi alat <i>accelerometer</i> pada lantai 2.....	25
3.4. Diagram Alir Penelitian.....	29
4.1. Lokasi penempatan sensor <i>accelerometer</i> pada balok di lantai 1.....	33
4.2. <i>Acceleration</i> balok arah x di lantai 1 saat mesin diam (Balok1 Y).....	34
4.3. <i>Acceleration</i> balok arah y di lantai 1 saat mesin diam (Balok1 X).....	34
4.4. <i>Acceleration</i> balok arah z di lantai 1 saat mesin diam (Balok1 Z).....	35
4.5. Hasil FFT Balok1 Y di lantai 1.....	35

4.6. Hasil FFT Balok1 X di lantai 1.....	36
4.7. Hasil FFT Balok1 Z di lantai 1.	36
4.8. Lokasi penempatan sensor <i>accelerometer</i> pada balok di lantai 2.....	37
4.9. <i>Acceleration</i> Balok2 Y di lantai 2 saat mesin menyala.....	37
4.10. <i>Acceleration</i> Balok2 X di lantai 2 saat mesin menyala.....	38
4.11. <i>Acceleration</i> Balok2 Z di lantai 2 saat mesin menyala.	38
4.12. Hasil FFT Balok2 Y di lantai 2 saat mesin menyala.....	39
4.13. Hasil FFT Balok2 X di lantai 2 saat mesin menyala.....	39
4.14. Hasil FFT Balok2 Z di lantai 2 saat mesin menyala.	40
4.15. Lokasi penempatan sensor <i>accelerometer</i> pada balok di lantai 3.....	40
4.16. <i>Acceleration</i> Balok3 Y di lantai 3 saat mesin menyala.....	41
4.17. <i>Acceleration</i> Balok3 X di lantai 3 saat mesin menyala.....	41
4.18. <i>Acceleration</i> Balok3 Z di lantai 3 saat mesin menyala.	42
4.19. Hasil FFT Balok3 Y di lantai 3 saat mesin menyala.....	42
4.20. Hasil FFT Balok3 X di lantai 3 saat mesin menyala.....	43
4.21. Hasil FFT Balok3 Z di lantai 3 saat mesin menyala.	43
4.22. Lokasi penempatan sensor <i>accelerometer</i> pada kolom di lantai 1.....	44
4.23. <i>Acceleration</i> Kolom1 Z di lantai 1.....	44
4.24. <i>Acceleration</i> Kolom1 X di lantai 1.	45
4.25. <i>Acceleration</i> Kolom1 Y di lantai 1.	45
4.26. Hasil FFT Kolom1 Z di lantai 1.....	46
4.27. Hasil FFT Kolom1 X di lantai 1.	46
4.28. Hasil FFT Kolom1 Y di lantai 1.	47
4.29. Lokasi penempatan <i>accelerometer</i> pada kolom di lantai 2.....	47
4.30. <i>Acceleration</i> Kolom2 Z di lantai 2.....	48
4.31. <i>Acceleration</i> Kolom2 X di lantai 2.	48

4.32. <i>Acceleration</i> Kolom2 Y di lantai 2.	49
4.33. Hasil FFT Kolom2 Z di lantai 2.	49
4.34. Hasil FFT Kolom2 X di lantai 2.	50
4.35. Hasil FFT Kolom2 Y di lantai 2.	50
4.36. Lokasi penempatan <i>accelerometer</i> pada kolom di lantai 3.	51
4.37. <i>Acceleration</i> Kolom3 Z di lantai 3.	51
4.38. <i>Acceleration</i> Kolom3 X di lantai 3.	52
4.39. <i>Acceleration</i> Kolom3 Y di lantai 3.	52
4.40. Hasil FFT Kolom3 Z di lantai 3.	53
4.41. Hasil FFT Kolom3 X di lantai 3.	53
4.42. Hasil FFT Kolom3 Y di lantai 3.	54
4.43. Tingkat kenyamanan manusia berdasarkan <i>acceleration</i> dan frekuensi untuk metode eksperimental.	56
4.44. Tingkat kenyamanan manusia berdasarkan defleksi dan frekuensi untuk metode eksperimental.	57
4.45. Pemodelan struktur dengan beban mesin pada lantai 2.	59
4.46. Detail pembagian posisi beban pada <i>crusher machine</i>	60
4.47. Detail pembagian posisi beban pada program ETABS.	60
4.48. Penginputan beban <i>time history</i> (A = 5,2 mm)	61
4.49. Penginputan beban <i>time history</i> (A = 9 mm)	61
4.50. Pembebanan beban statis dan beban dinamis mesin.	62
4.51. Pemodelan struktur gedung.	63
4.52. Letak <i>joint</i> 11 di lantai 1.	67
4.53. Letak <i>joint</i> 142 dan <i>joint</i> 11 di lantai 2.	68
4.54. Letak <i>joint</i> 224 dan <i>joint</i> 11 di lantai 3.	68
4.55. <i>Acceleration</i> Kolom1 X pada <i>joint</i> 11 di lantai 1.	69
4.56. <i>Acceleration</i> Kolom1 Y pada <i>joint</i> 11 di lantai 1.	69

4.57. <i>Acceleration</i> Balok2 X pada <i>joint</i> 142 di lantai 2.	70
4.58. <i>Acceleration</i> Balok2 Y pada <i>joint</i> 142 di lantai 2.	70
4.59. <i>Acceleration</i> Balok2 Z pada <i>joint</i> 142 di lantai 2.	71
4.60. <i>Acceleration</i> Kolom2 X pada <i>joint</i> 11 di lantai 2.	71
4.61. <i>Acceleration</i> Kolom2 Y pada <i>joint</i> 11 di lantai 2.	72
4.62. <i>Acceleration</i> Kolom2 Z pada <i>joint</i> 11 di lantai 2.	72
4.63. <i>Acceleration</i> Balok3 Z pada <i>joint</i> 224 di lantai 3.	73
4.64. <i>Acceleration</i> Kolom3 X pada <i>joint</i> 11 di lantai 3.	73
4.65. <i>Acceleration</i> Kolom3 Y pada <i>joint</i> 11 di lantai 3.	74
4.66. <i>Acceleration</i> Kolom3 Z pada <i>joint</i> 11 di lantai 3.	74
4.67. Tingkat kenyamanan manusia berdasarkan <i>acceleration</i> dan frekuensi untuk beban kombinasi dari hasil program ETABS.	77
4.68. Tingkat kenyamanan manusia berdasarkan <i>acceleration</i> dan frekuensi untuk beban mesin dari hasil program ETABS.	78
4.69. Tingkat kenyamanan manusia berdasarkan defleksi dan frekuensi untuk metode numerik.	79
4.70. Denah dimensi balok yang diubah di lantai 1.	83
4.71. Denah dimensi balok yang diubah di lantai 2.	83
4.72. Denah dimensi balok yang diubah di lantai 3.	84
4.73. <i>Acceleration</i> Balok2 Z pada <i>joint</i> 142 di lantai 2.	84
4.74. <i>Acceleration</i> Balok3 Z pada <i>joint</i> 224 di lantai 3.	85
4.75. Tingkat kenyamanan manusia berdasarkan <i>acceleration</i> dan frekuensi setelah perkuatan.	86
4.76. Tingkat kenyamanan manusia berdasarkan <i>displacement</i> dan frekuensi setelah perkuatan.	87

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Baja adalah salah satu jenis material yang telah banyak digunakan dalam dunia konstruksi. Material baja biasanya digunakan dalam pembuatan jembatan, gedung bertingkat maupun bangunan pabrik. Pemilihan material baja didasari karena mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan material konstruksi lain. Kelebihan dari penggunaan material baja yaitu materialnya yang awet dan kuat serta waktu pengerjaannya yang lebih cepat. Selain itu, baja juga merupakan material buatan pabrik sehingga pengawasan terhadap mutu lebih mudah dilakukan dan juga keseragaman material yang lebih terjamin. Berdasarkan segi keamanan, struktur yang terbuat dari baja lebih unggul dibandingkan dengan struktur yang terbuat dari kayu ataupun beton. Hal ini dikarenakan struktur baja memiliki tingkat daktilitas yang lebih tinggi sehingga dapat menahan guncangan maupun getaran yang terjadi.

Dalam merencanakan suatu bangunan terdapat beberapa faktor yang perlu diperhatikan diantaranya adalah kekuatan, stabilitas, estetika, keekonomisan dan kenyamanan. Tetapi seringkali dalam merencanakan suatu bangunan faktor kenyamanan menjadi kurang diperhatikan atau bahkan tidak diperhatikan oleh para perencana sehingga menimbulkan ketidaknyamanan. Salah satu penyebab terjadinya ketidaknyamanan adalah karena adanya getaran di luar batas toleransi pada elemen struktur bangunan (Rimaza dan Wiyono, 2014). Getaran yang terlalu berlebihan menjadi masalah umum pada sebuah bangunan. Getaran yang ditimbulkan tersebut dapat menimbulkan rasa ketidaknyamanan dan apabila getaran yang ditimbulkan terlalu besar maka terdapat kemungkinan adanya resiko keruntuhan pada bangunan.

Terdapat beberapa penyebab terjadinya getaran pada bangunan, salah satunya getaran yang diakibatkan oleh aktivitas mesin. Pada bangunan pabrik

biasanya terdapat mesin-mesin yang bekerja tanpa henti untuk memudahkan pekerjaan manusia. Akibat dari aktivitas mesin ini biasanya menimbulkan getaran yang cukup besar dan dapat berdampak pada struktur bangunan. Seiring berjalannya waktu kekuatan struktur pada bangunan pabrik tersebut akan semakin berkurang karena terus menerus menerima beban getaran yang cukup besar. Melihat dari kondisi tersebut, maka diperlukan suatu evaluasi struktur akibat getaran mesin untuk menilai tingkat kelayakan dari bangunan tersebut. Dengan begitu, dampak yang timbul akibat getaran pada struktur bangunan dapat diminimalisir.

Penelitian ini dilakukan pada sebuah bangunan pabrik dengan 3 lantai dimana pada bangunan tersebut terdapat mesin pemecah batu bara (*stone crusher*) yang terletak pada lantai 2. Mesin pemecah batu bara (*stone crusher*) ini menyebabkan getaran yang berdampak pada struktur bangunan dan seiring berjalannya waktu dapat menimbulkan penurunan mutu bangunan. Pada penelitian ini metode yang digunakan terdapat dua metode yaitu, metode ekperimental dengan bantuan alat *accelerometer* dan metode numerik dengan bantuan program ETABS. Program ETABS dipilih karena struktur yang akan dianalisis menggunakan struktur baja dan pada program ETABS terdapat pilihan untuk analisis desain sambungan. Selain itu, kelebihan program ETABS lainnya dapat menganalisis semua mesin secara bersamaan sehingga memperoleh hasil yang lebih cepat dan tepat dalam proses analisis struktur. Penelitian ini berfokus untuk mempelajari perilaku struktur baja akibat getaran mesin yang digunakan untuk menentukan tingkat kelayakan bangunan tersebut.



Gambar 1.1. Tampak bagian samping bangunan.



Gambar 1.2. Tampak bagian depan bangunan.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana pengaruh getaran akibat aktivitas mesin terhadap kelayakan bangunan pabrik dengan struktur baja?
- b. Bagaimana solusi dalam mengatasi masalah getaran akibat aktivitas mesin pada struktur baja?
- c. Bagaimana pola getaran yang terjadi akibat aktivitas mesin?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Mengetahui pengaruh getaran akibat aktivitas mesin terhadap tingkat kelayakan bangunan pabrik menggunakan struktur baja.
- b. Memberikan solusi terhadap permasalahan yang diakibatkan oleh getaran mesin pada bangunan dengan struktur baja.
- c. Mengetahui pola getaran yang terjadi akibat aktivitas mesin.

1.4. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini dilakukan evaluasi terhadap pengaruh getaran mesin terhadap kelayakan bangunan menggunakan struktur baja. Oleh karena itu, penelitian ini memiliki beberapa batasan masalah sebagai berikut:

- a. Lokasi penelitian dilakukan pada bangunan pabrik yang berada di Desa Tarahan, Kecamatan Katibung, Kota Lampung Selatan, Provinsi Lampung.
- b. Struktur yang digunakan merupakan struktur baja dengan 3 lantai.
- c. Analisis hanya dilakukan pada bagian struktur atas bangunan.
- d. Pemodelan struktur dilakukan dengan menggunakan program ETABS.
- e. Analisis *Fast Fourier Transform* (FFT) menggunakan program *Logger Pro*.
- f. Pembebanan yang digunakan pada penelitian ini adalah beban dinamis yang berupa getaran mesin, beban mati, beban hidup dan beban angin.
- g. Pelat lantai tidak dianalisis dalam penelitian ini.
- h. Perkuatan dilakukan hanya untuk mengubah nilai *acceleration*.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Menambah pengetahuan terhadap perilaku struktur baja akibat beban dinamis khususnya getaran mesin sehingga dapat diperhitungkan dalam mendesain sebuah bangunan demi kenyamanan dan keamanan penggunaannya.
- b. Menjadi pertimbangan pada perencanaan bangunan struktur baja yang terdapat mesin didalamnya.
- c. Mengatasi masalah-masalah yang ditimbulkan oleh getaran.
- d. Sebagai bahan pembelajaran untuk penelitian selanjutnya mengenai permasalahan getaran mesin.

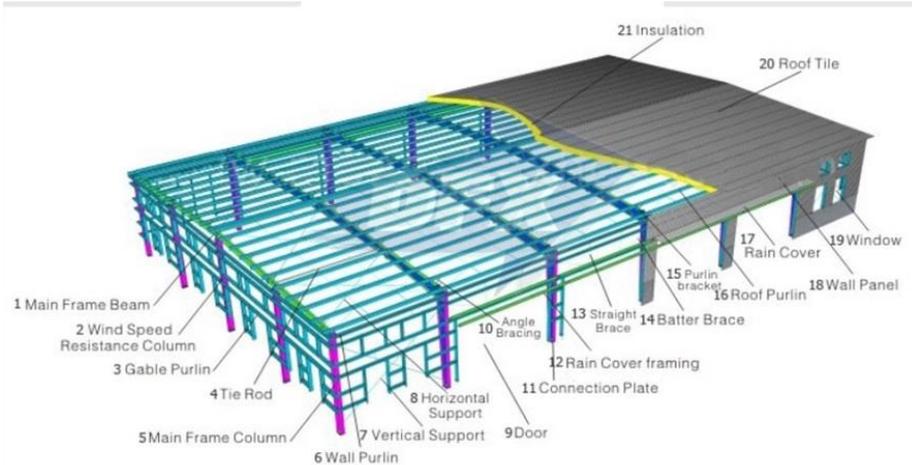
II. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini membahas beberapa teori yang berkaitan dengan getaran mesin pada bangunan struktur baja untuk memperhitungkan tingkat kelayakan dan kenyamanan akibat getaran mesin pada bangunan tersebut.

2.1. Sistem Struktur

Sistem struktur adalah suatu kesatuan dari rangkaian atau gabungan beberapa elemen-elemen yang didesain sedemikian rupa agar mampu menahan berat sendiri ataupun beban luar tanpa mengalami perubahan bentuk yang melewati batas persyaratan. Fungsi struktur adalah untuk menopang berat sendiri dan beban luar, dan menyalurkan beban-beban tersebut ke bagian bawah tanah bangunan, tanpa merubah bentuk geometri, kesatuan, daya layan dari struktur secara signifikan. Sistem struktur dapat dipisahkan kedalam dua mekanisme penyaluran beban, diantaranya adalah pemikul beban vertikal dan pemikul beban horizontal, walaupun dalam praktiknya, kedua sistem struktur ini bekerja sebagai satu kesatuan. Struktur yang didesain harus mampu menahan beban-beban yang bekerja, baik beban vertikal (beban mati dan beban hidup) maupun beban horizontal/lateral (beban gempa dan beban angin) yang direncanakan berdasarkan peraturan pembebanan.

Struktur bangunan umumnya terdiri dari 2 bagian utama, yaitu struktur atas (*upper structure*) dan struktur bawah (*sub structure*). Balok, pelat, dan kolom merupakan elemen-elemen struktur yang termasuk ke dalam struktur atas. Elemen struktur bawah pada umumnya adalah *sloof* dan pondasi.



Gambar 2.1. Sistem bangunan struktur baja.

2.2. Struktur Rangka Baja

Baja merupakan salah satu material yang sering digunakan pada perencanaan struktur bangunan. Baja mempunyai kekuatan yang tinggi sehingga dapat mengurangi dimensi pada struktur. Baja juga mempunyai sifat elastis dan daktilitas yang cukup tinggi sehingga dapat menerima tegangan tarik yang cukup besar.

Struktur baja dapat dibagi menjadi tiga kategori umum (Salmon dan Johnson, 1997) sebagai berikut:

- 1) Struktur rangka (*framed structure*), di mana elemen-elemennya kemungkinan terdiri dari batang-batang tarik, balok, dan batang-batang yang mendapatkan beban lentur kombinasi dan beban aksial;
- 2) Struktur tipe cangkang (*shell-type structure*), di mana tegangan aksial lebih dominan;
- 3) Struktur tipe suspensi (*suspension type structure*), di mana tarikan aksial lebih mendominasi sistem pendukung utamanya.

Pada struktur baja terdapat dua jenis batang yang terjadi akibat pengaruh pembebanan pada struktur, yaitu batang tarik dan batang tekan. Batang tarik pada umumnya berwujud penahan tarik pada kerangka, silangan (*diagonal bracing*) pada berbagai tipe struktur, penumpu langsung pada kabel pada

sistem atap gantung, dan sebagai kabel utama pada jembatan gantung serta penggantung yang mendukung jalan rayanya (Salmon dan Johnson, 1997).

Pada struktur baja terdapat dua macam batang tekan (Oentoeng, 2000) sebagai berikut:

- 1) Batang tekan yang merupakan batang dari suatu rangka batang. Batang ini dibebani gaya tekan aksial searah panjang batangnya. Umumnya dalam suatu rangka batang, batang-batang tepi atas merupakan batang tekan.
- 2) Kolom, yang merupakan batang tekan tegak yang bekerja untuk menahan balok-balok loteng, rangka atap, lintasan *crane* dalam bangunan pabrik dan sebagainya yang untuk seterusnya akan melimpahkan semua beban tersebut ke pondasi.

2.3. Pembebanan Struktur

Dalam mendesain suatu struktur, perlu ada gambaran yang jelas mengenai perilaku serta besar beban yang bekerja pada struktur. Struktur bangunan yang direncanakan harus mampu menahan beban-beban yang bekerja pada struktur, baik berat sendiri struktur maupun beban luar. Kesalahan pada perencanaan pembebanan dapat mengakibatkan kegagalan pada struktur bangunan. Beban-beban yang bekerja pada suatu struktur diantaranya adalah beban mati, beban hidup, beban gempa, dan beban angin.

1. Beban Mati

Beban mati adalah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaiannya, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari gedung itu (SNI 1727-2020). Beban mati pada struktur bangunan ditentukan oleh berat jenis bahan bangunan serta komponen-komponen yang tercantum pada denah arsitektur dan struktur. Beban mati dibagi menjadi 2 jenis, yaitu beban mati sendiri dan beban mati tambahan.

a. Beban mati sendiri (*Dead Load*)

Beban mati sendiri adalah beban yang dipikul oleh struktur sebagai akibat dari berat sendiri struktur dan akibat berat elemen-elemen struktur yang terdapat pada suatu konstruksi. Berat sendiri suatu elemen struktur bergantung pada jenis dan dimensi elemen tersebut.

b. Beban Mati Tambahan (*Super Dead Load*)

Beban mati tambahan adalah beban yang ada akibat adanya elemen-elemen tambahan dalam suatu struktur. Beban mati tambahan pada umumnya seperti keramik, *plafond*, dinding dan sebagainya.

2. Beban Hidup

Berdasarkan SNI 1727-2020 tentang pembebanan, beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati. Beban hidup merupakan beban yang sifatnya dapat berpindah-pindah atau bergerak sesuai dengan fungsi bangunan (ruangan). Meskipun dapat bergerak, beban hidup masih dapat dikatakan bekerja secara perlahan-lahan pada struktur bangunan. Beban penggunaan merupakan berat manusia, barang yang ada pada bangunan dan sebagainya. Besarnya beban hidup pada struktur bangunan ditetapkan berdasarkan SNI 1727-2020.

3. Beban Angin

Beban angin adalah semua beban yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang disebabkan oleh selisih dalam tekanan udara (SNI 1727-2020). Besarnya beban angin yang bekerja pada struktur bangunan tergantung dari kecepatan angin, rapat massa udara, letak geografis bangunan, bentuk dan ketinggian bangunan, serta kekakuan struktur bangunan.

4. Kombinasi Pembebanan

Dalam praktiknya di lapangan beban-beban diatas dapat bekerja pada waktu yang bersamaan. Oleh karena itu, diperlukan kombinasi

pembebanan yang tepat untuk memprediksi besarnya beban yang mungkin dapat terjadi. Kombinasi pembebanan yang digunakan dalam analisis adalah kombinasi pembebanan yang ada pada SNI 1727-2020. Berikut adalah kombinasi-kombinasi pembebanan yang ada :

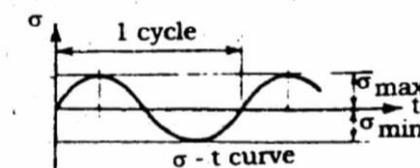
- a. Kombinasi 1 = $1,4D$
- b. Kombinasi 2 = $1,2D + 1,6L + 0,5(Lr \text{ atau } S \text{ atau } R)$
- c. Kombinasi 3 = $1,2D + 1,6(Lr \text{ atau } S \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$
- d. Kombinasi 4 = $1,2D + 1,0W + L + 0,5(Lr \text{ atau } S \text{ atau } R)$
- e. Kombinasi 5 = $0,9D + 1,0W$
- f. Kombinasi 6 = $1,2D + Ev + Eh + L + 0,2S$
- g. Kombinasi 7 = $0,9 D + Ev + Eh$

2.4. Beban Siklik

Beban siklik atau *cyclic load* adalah pembebanan berulang yang terjadi pada suatu struktur, seperti tekanan berulang yang teratur pada suatu bagian, sehingga dapat menyebabkan kelelahan (*fatigue*). Kekuatan *fatigue* oleh beban siklik dipengaruhi oleh berbagai pembebanan, *load history*, tingkat pembebanan, dan sifat material. Adapun tegangan siklik terbagi atas lima jenis (Oentoeng, 2000) sebagai berikut:

- a. *Full Reversal Stress* ($R = -1$)

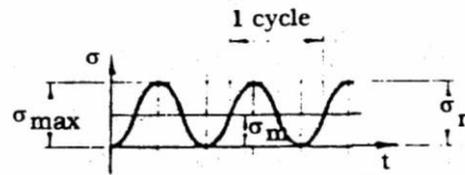
Full reversal bahwa dalam satu siklus, tegangan telah mencapai batas maksimum pada kondisi *minimum tensile stress* dan *maximum tensile stress*.



Gambar 2.2. *Full Reversal Stress*.
(Sumber: Oentoeng, 2000)

b. *Pulsating Tension Stress* ($R = 0$)

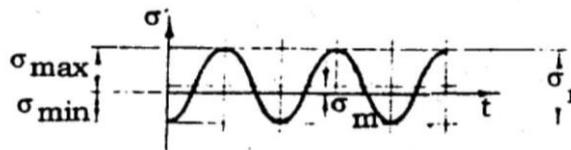
Pulsating Tension merupakan siklus tegangan dimana dalam satu siklus, tegangan mencapai maksimum, tetapi hanya pada area *maximum tensile stress* saja.



Gambar 2.3. *Pulsating Tension Stress*.
(Sumber: Oentoeng, 2000)

c. *Reversing/Alternating Stress* ($R < 0$)

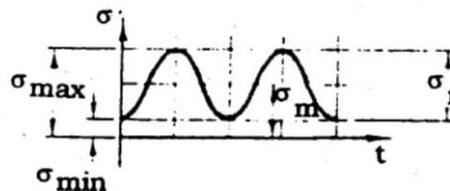
Siklus *reversing/ alternating* dimulai dari tegangan tarik minimum, yaitu tidak pada nilai 0, sehingga menimbulkan efek kebalikan pada siklus berikutnya.



Gambar 2.4. *Reversing/Alternating Stress*.
(Sumber: Oentoeng, 2000)

d. *Fluctuating Stress* ($R > 0$)

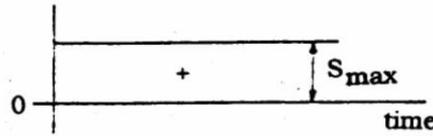
Fluctuating adalah siklus yang mencapai nilai maksimum pada tegangan tarik dan nilainya selalu di atas 0 pada tegangan tarik. Artinya bahwa komponen tidak mengalami tegangan minimum tarik pada komponen struktur.



Gambar 2.5. *Fluctuating Stress*.
(Sumber: Oentoeng, 2000)

e. *Static Load Stress* ($R = +1$)

Static load adalah siklus dimana pada siklus tegangan tidak adanya efek fatik pada siklus tersebut.

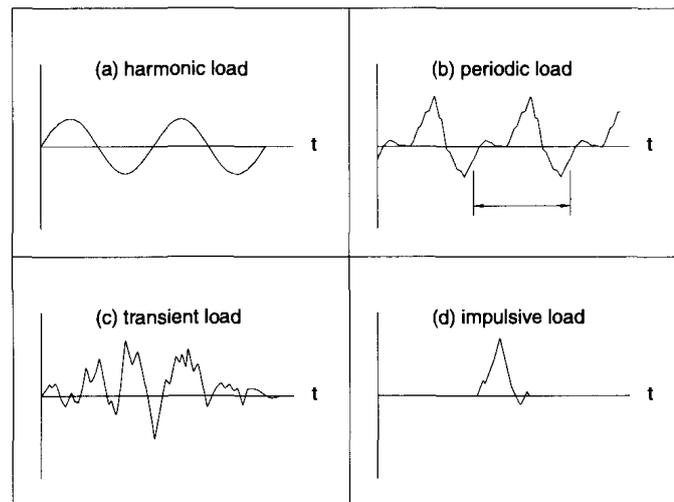


Gambar 2.6. *Static Load Stress*.
(Sumber: Oentoeng, 2000)

2.5. Beban Dinamis

Dalam membuat perencanaan suatu struktur bangunan, diperlukan landasan serta analisa struktur yang berpedoman pada peraturan yang berlaku di Indonesia. Perencanaan dalam suatu struktur bangunan harus memenuhi persyaratan struktur bangunan yang telah ditentukan agar tercipta struktur yang kokoh, aman, dan memiliki durabilitas yang direncanakan. Salah satu syarat yang harus terpenuhi adalah dalam perencanaan pembebanan. Secara umum, beban yang bekerja pada struktur dibagi menjadi dua yaitu beban statis dan beban dinamis.

Beban dinamis adalah beban yang nilai, arah, dan posisinya berubah-ubah berdasarkan waktu (Clough and Penzien, 2003). Beban dinamis terjadi karena adanya getaran-getaran yang dihasilkan dari sumber getaran. Getaran-getaran tersebut dapat berupa getaran yang berasal dari mesin-mesin, gerakan tanah akibat gempa bumi dan sebagainya. Beban dinamis dapat diklasifikasikan sebagai harmonik, periodik, transien, dan impulsif seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. Beban harmonik biasanya disebabkan oleh mesin yang beroperasi. Beban periodik disebabkan oleh aktivitas manusia berirama seperti menari dan aerobik serta mesin yang tidak aktif. Beban transien terjadi karena adanya pergerakan orang seperti berjalan dan berlari. Sedangkan beban impulsif terjadi karena aktivitas manusia seperti melompat dan jatuh (Murray *et al*, 2003).



Gambar 2.7. Pola getaran beban dinamis.
 (Sumber: Murray et al, 2003)

2.6. Getaran

Getaran merupakan gerakan bolak-balik cepat (*reciprocating*), memantul ke atas dan ke bawah atau ke belakang dan ke depan yang melalui keadaan seimbang terhadap suatu titik acuan. Gerakan tersebut terjadi secara teratur dari benda atau media dengan arah bolak balik dari kedudukannya. Terdapat berbagai macam penyebab terjadinya getaran pada bangunan (Rimaza dan Wiyono, 2014), diantaranya sebagai berikut:

1. Getaran yang berasal dari dalam bangunan seperti peralatan mesin (mesin pompa, genset, elevator, dan lain-lain) serta aktivitas dari orang yang berada di dalam gedung (berlari, berjalan, menari, melompat, dan lain-lain).
2. Getaran yang berasal dari luar bangunan seperti lalu lintas kendaraan di jalan, kereta api yang melintas, aktivitas pembangunan disekitar bangunan, ledakan bom, angin, dan gempa bumi.

Dalam satu getaran terdapat 3 parameter sebagai tolak ukur suatu getaran. Parameter tersebut diantaranya:

1. Frekuensi

Frekuensi merupakan banyaknya periode getaran yang terjadi dalam satu putaran waktu. Besarnya frekuensi yang timbul pada saat terjadinya getaran (*vibration*) dapat mengidentifikasi jenis-jenis gangguan yang terjadi. Frekuensi biasanya ditunjukkan dalam bentuk *cycle per second* (CPS), yang biasanya sering disebut dengan istilah Hertz dalam satuan internasional (dimana Hz = CPS). Simbol f (huruf kecil) digunakan untuk melambangkan sebuah frekuensi sedangkan Hz adalah singkatan yang digunakan untuk Hertz (Hidayat dan Wilis, 2017). Frekuensi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$f = \frac{t}{n} \text{ atau } f = \frac{1}{T} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

f = Frekuensi getaran (Hz)

T = Periode getaran (s)

t = Waktu yang diperlukan dalam melakukan getaran (s)

n = Jumlah getaran

2. Periode

Periode adalah waktu yang dibutuhkan untuk menempuh satu getaran. Satu getaran terdiri dari satu puncak dan satu lembah. Pada umumnya satuan yang digunakan untuk periode adalah sekon (s). Simbol T (huruf besar) adalah simbol yang digunakan untuk melambangkan periode. Periode dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini:

$$T = \frac{t}{n} \text{ atau } T = \frac{1}{f} \dots\dots\dots(2)$$

3. Amplitudo

Amplitudo adalah simpangan maksimum yang terjadi pada peristiwa getaran. Satuan amplitudo pada umumnya adalah meter (m) sedangkan simbol yang digunakan untuk melambangkan amplitudo adalah A (huruf besar). Amplitudo dari sinyal vibrasi mengidentifikasikan besarnya gangguan yang terjadi. Makin tinggi amplitudo yang ditunjukkan,

menandakan makin besar gangguan yang terjadi, besarnya amplitudonya bergantung pada tipe mesin yang ada (Hidayat dan Wilis, 2017). Amplitudo dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$y = \pm A \sin (\omega t \pm kx) \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

A = Amplitudo (m)

ω = Kecepatan radian = $2\pi f$ atau $2\pi/T$

t = Waktu yang ditempuh gelombang (s)

y = Simpangan (m)

k = Bilangan gelombang

x = Jarak ke sumber getar (m)

2.7. Getaran Bebas

Sistem struktur akan mengalami getaran bebas jika sistem struktur tersebut mengalami gangguan dari posisi keseimbangan statiknya dan bergetar bebas tanpa adanya beban dinamik luar (Clough and Penzien, 2003). Gangguan tersebut berupa perpindahan awal dan kecepatan awal. Persamaan dinamik getaran bebas tanpa redaman adalah:

$$m \cdot \ddot{u} + k u = 0 \dots\dots\dots(4)$$

dimana:

m = Massa struktur (Kg)

k = Kekakuan

u = Perpindahan (m)

\dot{u} = Kecepatan (m/s)

Karena struktur bergetar bebas, maka dalam persamaaan di atas, pada suku sebelah kanan tidak ada gaya luar yang tergantung waktu yaitu $p(t)$. Solusi umum persamaan getaran bebas adalah:

$$\dot{u}(t) = -A\omega \sin \omega t + B\omega \cos \omega t \dots\dots\dots(5)$$

$$u(t) = A \cos \omega t + B \sin \omega t \dots\dots\dots(6)$$

Perpindahan awal berupa $u(0)$ pada saat $t = 0$ dan kecepatan $\dot{u}(0)$ pada saat $t = 0$. Dari persamaan di atas jika dimasukkan syarat awal, maka didapat koefisien A dan B yaitu :

$$A = u(0), \quad B = \frac{\dot{u}(0)}{\omega} \dots\dots\dots(7)$$

Sehingga respon getaran bebas adalah:

$$u(t) = u(0) \cos \omega_n t + \frac{\dot{u}(0)}{\omega} \sin \omega t \dots\dots\dots(8)$$

Dimana:

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \text{ rad/sec} \dots\dots\dots(9)$$

Waktu yang diperlukan oleh sistem untuk melakukan satu kali getaran disebut periode getar alami, T_n dan berhubungan dengan frekuensi getar alami ω . Periode getar alami dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$T_n = \frac{2\pi}{\omega_n} \dots\dots\dots(10)$$

Jumlah getaran yang dilakukan setiap detiknya disebut frekuensi f_n (*natural cyclic frequency*), dinyatakan sebagai berikut:

$$f_n = \frac{1}{T_n} \text{ Hz} \quad f_n = \frac{\omega_n}{2\pi} \dots\dots\dots(11)$$

2.8. Frekuensi Alami (*Natural Frequency*)

Frekuensi alami adalah frekuensi dari sistem yang bergetar secara bebas (tidak terbatas). Kondisi tersebut biasanya disebut sebagai getaran bebas. Setiap struktur, secara matematis mempunyai frekuensi alami dan bentuk ragam yang tidak terbatas. Apabila sebuah struktur bergetar pada suatu frekuensi yang sama dengan frekuensi alaminya, maka struktur tersebut akan memberikan respon berupa amplitudo yang terus meningkat seiring dengan bertambahnya waktu, sampai struktur tersebut menjadi kelebihan tegangan dan runtuh. Untuk menganalisis integritas struktur secara keseluruhan,

frekuensi alami harus dihitung agar dapat dibandingkan dengan beban tergantung waktu yang bekerja pada struktur dimana frekuensinya harus berbeda dengan frekuensi alaminya. Sehingga struktur tersebut tidak akan mengalami lendutan maupun tegangan yang terlalu besar. Frekuensi alami pada balok dapat diperkirakan menggunakan rumus (Murray *et al*, 2003) sebagai berikut:

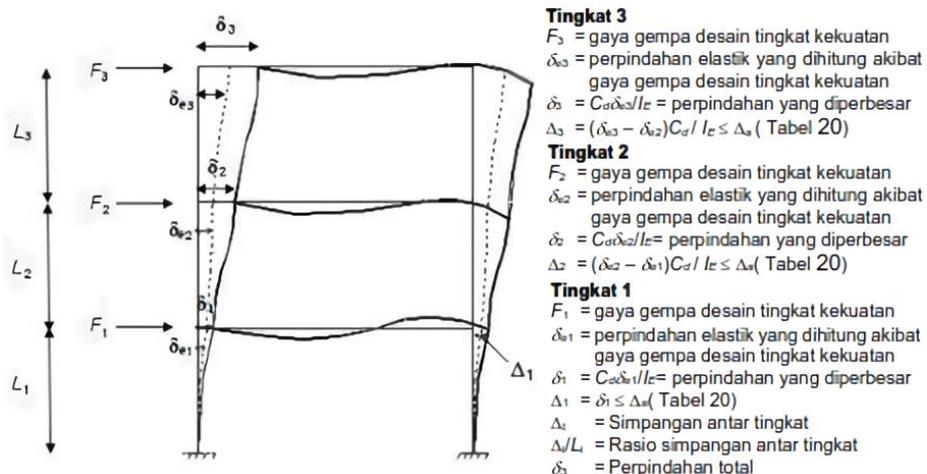
$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \dots\dots\dots(12)$$

Dimana :

- f_n = Frekuensi alami (Hz)
 k = Kekakuan (Kn/m)
 m = Massa (Kg)

2.9. Simpangan Antar Lantai (*Story Drift*)

Kinerja batas layan dan batas ultimit struktur gedung dapat ditentukan dengan simpangan antar lantai (*story drift*) akibat pengaruh beban lateral, yaitu untuk mencegah kerusakan non-struktur, peretakan beton, membatasi terjadinya pelelehan baja dan kenyamanan penghuni. Simpangan antar lantai adalah perpindahan lateral relatif antara dua tingkat bangunan yang berdekatan atau simpangan mendatar tiap tingkat bangunan yang diukur dari lantai di bawahnya.



Gambar 2.8. Penentuan simpangan antar lantai.
 (Sumber: SNI 1726-2019)

Nilai dari simpangan antar lantai ini pada tingkat x (δ_x) dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut sesuai dengan SNI 1726-2019, Pasal 7.12.3:

$$\delta_x = \frac{C_d \cdot \delta_x}{I_e} \dots\dots\dots(13)$$

Keterangan :

- δ_x = Simpangan di tingkat x
- C_d = Faktor pembesaran simpangan lateral
- I_e = Faktor Keutamaan Gempa

Nilai simpangan antar lantai tidak boleh melebihi nilai simpangan antar lantai yang diizinkan. Berikut adalah tabel batasan simpangan antar lantai:

Tabel 2.1. Batasan Simpangan Antar Lantai

Struktur	Kategori risiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat.	$0,025h_{sx}$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

Sumber: SNI 1726-2019

2.10. Baku Tingkat Getaran

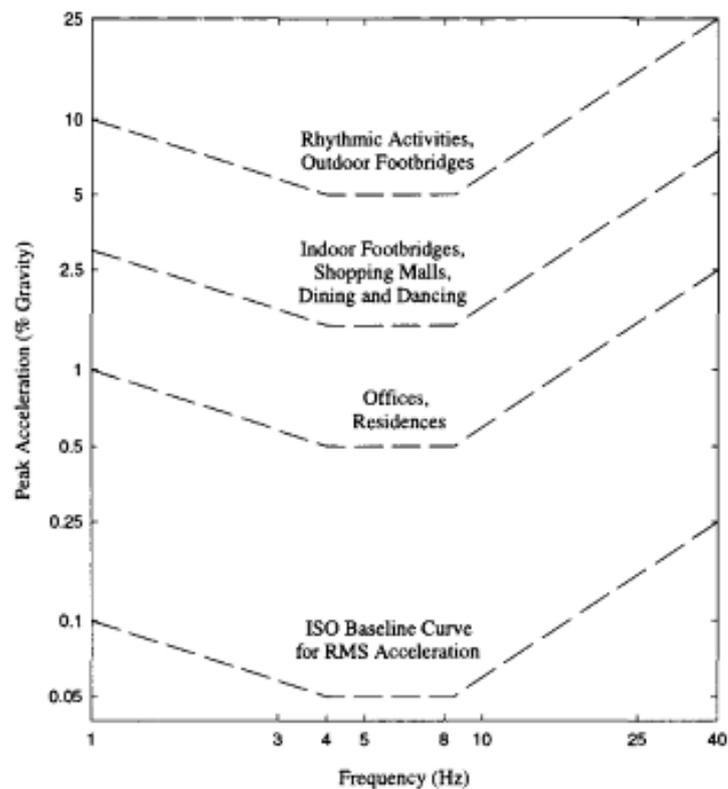
Baku tingkat getaran adalah batas maksimal tingkat getaran yang diperbolehkan dari usaha atau kegiatan sehingga tidak menimbulkan gangguan terhadap kenyamanan serta keutuhan bangunan. Begitu juga dengan batas maksimal tingkat getaran bangunan bertingkat selayaknya tidak mengganggu kenyamanan pengguna bangunan dan sekitarnya, getaran yang dirasakan harus dalam taraf tidak mengganggu dan tidak merusak bangunan, sehingga tetap menjamin keamanan dan kenyamanan pengguna bangunan

bertingkat tersebut. Besarnya getaran harus dibandingkan dengan beberapa nilai batas sebagai acuan apakah tingkat getaran tersebut memenuhi syarat. Respons manusia terhadap besarnya getaran tergantung pada besarnya frekuensi dan durasi getaran serta lingkungan dimana getaran dirasakan.

2.11. Standar Kenyamanan Manusia Terhadap Getaran

Sebuah gerak kontinyu (*steady state*) dapat menyebabkan getaran yang berlebih dibandingkan dengan gerak transien (Murray *et al*, 2003). Respons manusia terhadap getaran berbeda-beda, dipengaruhi oleh beberapa faktor. Contohnya reaksi orang yang berada pada tempat yang sibuk akan merasakan reaksi getaran yang lebih besar dibandingkan dengan orang yang berada pada tempat tenang.

Frekuensi dan akselerasi yang diakibatkan oleh berbagai kegiatan seperti kegiatan mesin dan manusia dapat menimbulkan gaya-gaya pada struktur bangunan. Reaksi dari orang-orang yang merasakan getaran tergantung dari apa yang sedang mereka lakukan. Orang-orang yang berada di kantor atau di tempat tinggal tidak menyukai getaran yang terlalu besar (puncak percepatan atau *acceleration* yang dapat diterima sekitar 0,5% dari percepatan gravitasi, *g*), sedangkan orang-orang yang melakukan sebuah aktifitas akan menerima getaran kurang lebih 10 kali lebih besar (*acceleration* 5% dari gravitasi atau lebih). Orang-orang yang berada di lantai dansa, mengangkat beban di gedung aerobik atau gedung olahraga, atau berada di pusat perbelanjaan akan menerima *acceleration* 1,5% dari gravitasi. Sensivitas dalam setiap bangunan juga berbeda-beda sesuai dengan lamanya getaran dan jarak sumber getaran. Batasan untuk frekuensi yang diakibatkan getaran sebesar 4 Hz sampai 8 Hz (Murray *et al*, 2003). Batas akselerasi untuk kenyamanan manusia dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9. Batas akselerasi yang disarankan untuk kenyamanan manusia terhadap getaran.

(Sumber: Allen and Murray, 1993; ISO 2631-2: 1998).

2.12. Getaran Akibat Mesin

Dalam mendesain struktur bangunan, tingkat kenyamanan pengguna dan kondisi bangunan yang kokoh dan aman adalah salah satu syarat yang harus dipenuhi. Getaran (*vibration*) seringkali tidak diperhitungkan dalam proses perencanaan suatu struktur bangunan. Aktivitas mesin pada sebuah bangunan adalah salah satu penyebab terjadinya getaran pada sebuah struktur bangunan.

Getaran mesin adalah getaran yang diakibatkan oleh beban mesin pada saat mesin dijalankan. Getaran yang diakibatkan oleh mesin merupakan salah satu akibat dari beban dinamis langsung (*in situ*). Getaran yang diakibatkan oleh mesin tidak hanya berdampak pada pengguna bangunan saja tetapi juga pada struktur bangunan serta pondasi dari bangunan tersebut.

Getaran mesin dapat mempengaruhi berbagai bagian struktur, seperti pondasi, pelat, balok, dan bahkan seluruh struktur bangunan dengan berbagai jenis beban dinamis yang berbeda. Sebuah mesin dapat menyebabkan gaya dinamis yang berbeda tergantung pada tujuan pembuatannya, kondisi mesin, status perawatan, detail desain dan sebagainya (Bachmann *et al*, 1997). Dampak dari getaran yang diakibatkan oleh mesin pada sebuah struktur dapat berupa munculnya retak, plester yang hancur, sekrup yang kendur dan sebagainya. Pada struktur baja getaran mesin dapat mengakibatkan masalah kelelahan balok utama baja atau tulangan baja yang mengakibatkan kerusakan, dan pada batas maksimumnya dapat menyebabkan keruntuhan bangunan.

Orang yang bekerja sementara atau permanen di dekat mesin yang menghasilkan getaran atau berada pada tempat yang terkena getaran mesin dapat terengaruh dalam getaran tersebut pada berbagai tingkatan yang berbeda-beda. Dampak tingkat getaran yang dirasakan dapat berupa tidak mengganggu sama sekali, mengganggu hingga berbahaya (Bachmann *et al*, 1997). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.10.

Mesin dengan bagian yang berputar dapat menyebabkan gaya dinamis yang tidak dapat diabaikan. Mesin yang bergetar tersebut menyebabkan gaya sentrifugal dinyatakan (Bachmann *et al*, 1997) sebagai berikut:

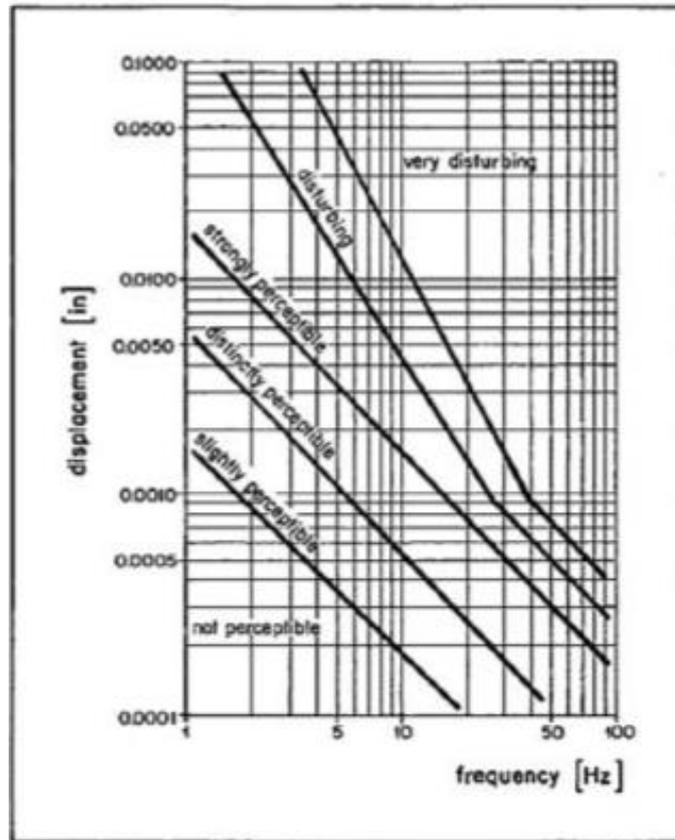
$$F_o = m' \cdot e \frac{4\pi^2}{3600} \cdot n^2 = m' \cdot e \cdot 4\pi^2 \cdot f_B^2 = m' \cdot e \cdot \Omega^2 \dots\dots\dots(14)$$

Dimana:

- F_o = Gaya sentrifugal (N)
- M = massa mesin yang berputar (Kg)
- e = Eksentrisitas (m)
- n = Jumlah rotasi (rpm)
- f_B = Frekuensi mesin yang beroperasi (Hz) ($f_B = n/60$)
- Ω = Kecepatan sudut (rad/s) ($\Omega = 2\pi \cdot f_B$)

Sehingga gaya harmonik dapat dinyatakan dengan:

$$F(t) = F_o \sin(\Omega t) = m \cdot e \cdot \Omega^2 \sin(\Omega t) \dots\dots\dots(15)$$



Gambar 2.10. Tingkat kenyamanan berdasarkan *displacement* dan frekuensi
(Sumber: Bachmann and Ammann, 1987).

2.13. Fast Fourier Transform (FFT)

Fast Fourier Transform (FFT) ditemukan pada tahun 1822 oleh J. Fourier yang merupakan pengembangan dari *Fourier Transform* (FT). *Fast Fourier Transform* (FFT) merupakan metode perhitungan operasi matematika yang digunakan untuk mentransformasi sinyal suara dalam domain waktu menjadi sinyal berbasis domain frekuensi. *Fast Fourier Transform* (FFT) membagi sebuah sinyal menjadi frekuensi yang berbeda-beda dalam fungsi eksponensial yang kompleks. *Fast Fourier Transform* (FFT) merupakan algoritma untuk menghitung transformasi *fourier diskrit* dengan lebih cepat dan efisien dibandingkan dengan *Fourier Transform* (FT).

3.2. Metode Eksperimental

Metode eksperimental pada penelitian ini adalah kegiatan investigasi lapangan yang bertujuan untuk memperoleh data dengan menggunakan bantuan alat serta dengan melihat secara visual kerusakan-kerusakan yang terjadi pada bangunan. Pada kegiatan ini alat yang digunakan adalah *accelerometer*. Alat tersebut digunakan untuk mengukur percepatan (akselerasi). Hasil dari pengukuran menggunakan *accelerometer* akan dianalisis menggunakan analisis *Fast Fourier Transform* (FFT). Analisis *Fast Fourier Transform* (FFT) berfungsi untuk mentransformasikan data hubungan akselerasi terhadap waktu menjadi data amplitudo terhadap frekuensi alami. Analisis *Fast Fourier Transform* (FFT) dilakukan dengan menggunakan bantuan program *Logger Pro*.

3.3. Metode Numerik

Metode numerik (*Finite Element Analysis*) adalah salah satu metode numerik yang dapat dipakai untuk menyelesaikan berbagai kasus pada bidang rekayasa (*engineering*). Pada penelitian ini metode numerik digunakan untuk kegiatan analisis struktur dengan tujuan untuk menganalisis elemen-elemen struktur baik secara keseluruhan maupun sebagian dalam menentukan kekuatan struktur bangunan ketika menahan beban-beban rencana yang bekerja pada struktur tersebut. Kegiatan ini dilaksanakan dengan bantuan program ETABS. Program ETABS (*Extended Three Dimensional Analysis of Building Systems*) adalah suatu program berdasarkan metode numerik yang digunakan untuk melakukan analisis dan desain pada struktur bangunan dengan cepat dan akurat. Dengan menggunakan bantuan *software*, kegiatan analisis menjadi lebih cepat dan akurat dibandingkan dengan perhitungan manual yang terbatas.

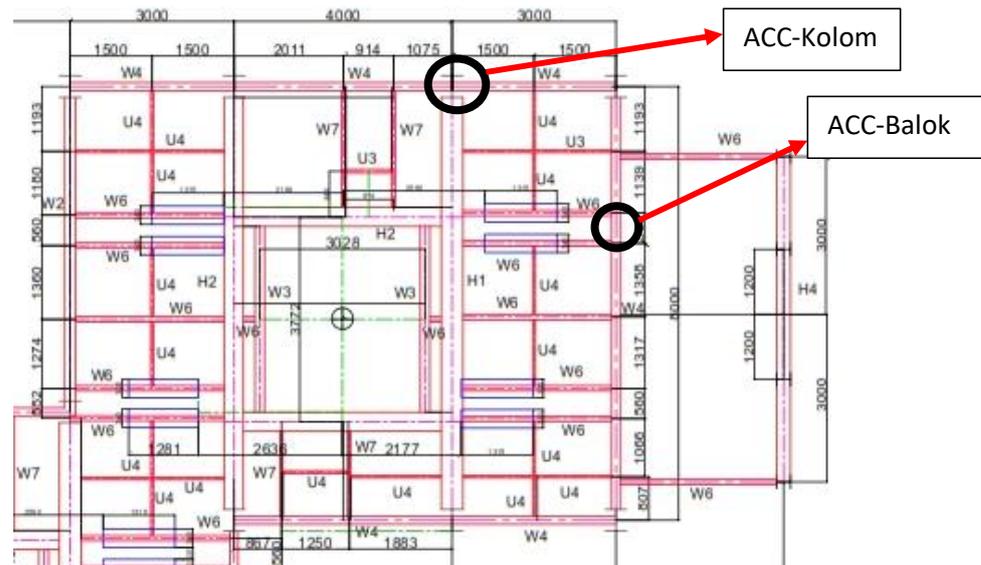
3.4. Alat

Accelerometer merupakan alat yang digunakan untuk mengukur percepatan, mengukur dan mendeteksi getaran (*vibration*), serta mengukur percepatan akibat gravitasi bumi. Sensor *accelerometer* dapat mengukur percepatan akibat gerakan benda yang melekat pada alat tersebut. *Accelerometer* dapat mengukur percepatan berdasarkan pergerakan benda yang di hubungkan dengan perubahan massa yang terjadi di dalam alat pengukur tersebut.



Gambar 3.2. *Accelerometer* untuk pengujian akselerasi pada struktur bangunan.

Accelerometer dapat digunakan untuk mengukur getaran yang terjadi pada jembatan, instalasi pengamanan, bangunan bertingkat, getaran mesin, kendaraan dan kecepatan dengan atau tanpa pengaruh gravitasi bumi. Pada kegiatan ini *accelerometer* digunakan untuk mendapatkan hasil berupa akselerasi pada struktur bangunan akibat mesin yang bergetar. *Accelerometer* ini diletakkan pada beberapa titik lokasi yang sudah ditentukan. Pada penelitian ini, *accelerometer* diletakkan pada elemen kolom dan balok dimasing-masing lantai. Berikut adalah penempatan titik lokasi alat *accelerometer* di lantai 2 yang dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Denah penempatan lokasi alat *accelerometer* pada lantai 2.

3.5. Prosedur Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental dan metode numerik. Pemodelan struktur dilakukan dengan bantuan program ETABS. Berikut tahapan-tahapan yang akan dilakukan pada penelitian ini.

1. Studi Literatur

Studi literatur yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

- a. SNI 1727-2020 tentang Beban Desain Minimum Dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung Dan Struktur Lain.
- b. SNI 1726-2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-gedung.
- c. *Steel Design Guide Series 11 Floor Vibration Due to Human Activity*.
- d. Berbagai buku, jurnal, dan sumber literatur lainnya yang berkaitan dengan evaluasi struktur baja terhadap getaran mesin.

2. Pengumpulan Data

Data penelitian dapat dibedakan ke dalam dua kategori, yaitu data primer dan data sekunder. Data yang diperoleh langsung dari pengamatan fakta

yang ada di lapangan disebut sebagai data primer. Sedangkan data sekunder merupakan data yang didapat melalui studi pustaka dan studi-studi lain yang mendukung. Dalam penelitian ini jenis data yang digunakan adalah data kuantitatif berkaitan dengan angka-angka yang diperoleh dari hasil pengukuran di lapangan berupa pengujian frekuensi dan akselerasi akibat getaran dinamis yang berasal dari mesin. Data primer lainnya adalah data berupa *as built drawing* yang digunakan untuk melakukan pemodelan struktur 3D dengan bantuan program ETABS yang selanjutnya akan dilakukan untuk menganalisis struktur tersebut. *As built Drawing* digunakan untuk tahapan pemodelan yang disesuaikan dengan gambar yang ada sehingga analisis yang dilakukan tidak menyimpang dari gambar yang ada. Untuk bangunan non struktural tidak dimodelkan karena tidak mempunyai pengaruh yang signifikan pada pemodelan 3D yang dilakukan.

3. Pemodelan Struktur

Struktur dimodelkan dalam pemodelan 3D dengan memasukkan data elemen-elemen struktur berupa balok, kolom, dan pelat. Pembuatan model struktur bangunan dilakukan dengan bantuan program ETABS sesuai dengan data dan informasi dari *as built drawing*. Tahap awal dalam memodelkan struktur bangunan adalah menginput semua jenis material dan ukuran penampang yang digunakan sesuai dengan *as built drawing*. Tahap selanjutnya adalah membuat pemodelan kolom, balok, dan pelat.

4. Perhitungan Pembebanan

Pembebanan yang dihitung yaitu beban-beban yang bekerja pada struktur berupa beban mati, beban hidup dan beban angin. Selain itu, juga dilakukan penginputan beban dinamis yang berasal dari getaran mesin. Perhitungan pembebanan dilakukan berdasarkan dengan persyaratan yang berlaku di Indonesia. Beban-beban yang sudah ditetapkan besarnya akan dilakukan penginputan dalam program ETABS.

Sebelum melakukan penginputan pembebanan, terlebih dahulu memasukkan data-data material dan dimensi yang digunakan, kemudian mendefinisikan semua beban-beban yang bekerja pada struktur tersebut, selanjutnya memasukkan kombinasi pembebanan pada *load combination*.

Perhitungan beban mati terdiri dari beban mati akibat berat sendiri struktur (*dead load*) dan beban mati tambahan (*super dead load*). Perhitungan beban mati akibat berat sendiri struktur pada program ETABS didefinisikan sebagai *load case dead* sedangkan beban mati tambahan didefinisikan sebagai *load case superdead*. Beban mati akibat berat sendiri struktur dihitung secara otomatis pada program ETABS berdasarkan input data material dan dimensi struktur yang digunakan, sedangkan untuk beban mati tambahan dimasukkan secara manual pada program ETABS.

Perhitungan beban hidup pada ETABS didefinisikan sebagai *load case live*. Beban hidup disesuaikan dengan fungsi ruangan pada gedung sehingga nilai untuk beban hidup tiap lantai berbeda-beda. Untuk pembebanan analisis dinamis berupa getaran mesin dimasukkan dengan menggunakan tipe *load case time history*.

5. Analisis Struktur

Analisis struktur dilakukan dengan menggunakan bantuan program ETABS. Dalam penelitian ini, analisis yang digunakan adalah analisis modal dan analisis linear. Analisis modal digunakan untuk mengetahui kondisi struktur tanpa pengaruh beban luar. Sedangkan analisis linear digunakan untuk melihat nilai gaya dalam dan reaksi yang timbul akibat beban yang dilakukan (Wahyuni, 2012).

Pada penelitian ini analisis struktur dilakukan untuk memperoleh nilai amplitudo yang dihasilkan akibat getaran mesin. Nilai amplitudo diperoleh dengan cara membandingkan nilai gaya hasil analisis ETABS dengan gaya yang berasal dari spesifikasi mesin. Apabila nilai gaya hasil analisis ETABS telah mendekati nilai gaya spesifikasi mesin, maka nilai

amplitudo tersebutlah yang akan digunakan untuk analisis dinamis pada program ETABS.

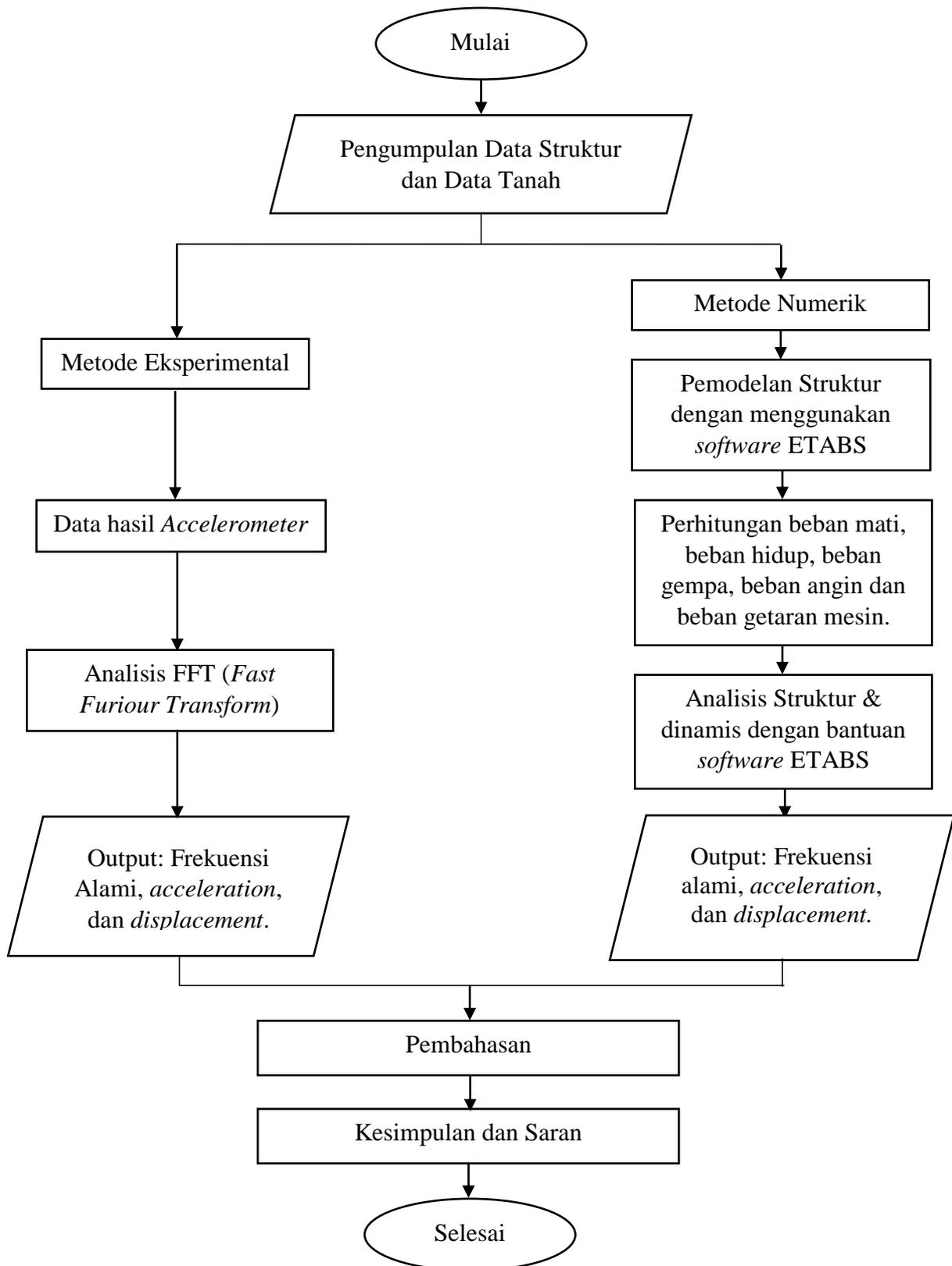
6. Analisis Dinamis Struktur

Pada analisis dinamis struktur menggunakan ETABS digunakan analisis modal untuk menentukan frekuensi alami (*natural frequency*) dari suatu struktur. Frekuensi alami struktur merupakan frekuensi dari struktur yang secara alami cenderung untuk bergetar jika struktur mengalami gangguan. Bentuk getaran dari sebuah struktur adalah bentuk lendutan struktur pada frekuensi yang spesifik, hal ini didapatkan dengan melakukan analisis modal tersebut. Nilai frekuensi alami ini dapat digunakan sebagai pedoman apakah suatu struktur akan mengalami resonansi atau tidak (Wahyuni, 2012). Suatu struktur akan mengalami resonansi apabila nilai frekuensi beban yang diterima struktur mendekati atau sama dengan frekuensi alaminya. Selain itu, pada analisis dinamis struktur ini juga akan didapatkan nilai *acceleration* pada bangunan. Pada tahap ini juga dilakukan analisis simpangan antar lantai untuk mengetahui kekuatan bangunan dalam menerima beban lateral.

7. Analisis *Fast Furiour Transform* (FFT)

Pada penelitian ini analisis *Fast Furiour Transform* (FFT) dibantu dengan menggunakan *software Logger Pro*. Tahap awal yang dilakukan adalah mengatur lamanya pengambilan data (*duration*) dan banyaknya data yang terukur tiap satuan waktu. Lalu, menginput data hasil pengukuran yang didapat dari alat *accelerometer*. Setelah, melakukan penginputan data pada program *Logger Pro* akan tampil hasil pengukuran dalam bentuk grafik hubungan akselerasi terhadap waktu. Grafik ini akan digunakan untuk mencari nilai frekuensi alami dengan menggunakan analisis FFT yang terdapat pada program *Logger Pro*. Dengan analisis FFT ini akan mentransformasi grafik awal yang berupa grafik hubungan akselerasi terhadap waktu menjadi grafik hubungan antara amplitudo terhadap frekuensi.

3.6. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.4. Diagram Alir Penelitian

V. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil data yang diperoleh di lapangan (metode eksperimental) dengan alat *accelerometer* dan analisis menggunakan program ETABS (metode numerik) yang telah dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai *acceleration* dan frekuensi untuk balok arah vertikal yang diperoleh dari metode eksperimental belum memenuhi syarat bangunan pabrik dikatakan nyaman karena nilai *acceleration* lebih dari 5% gravitasi dan nilai frekuensi tidak berada pada nilai 4 - 8 Hz.
2. Berdasarkan grafik tingkat kenyamanan akibat getaran mesin untuk frekuensi dan *displacement* dengan menggunakan hasil yang diperoleh dari metode eksperimental, didapatkan tingkat kenyamanan termasuk dalam kategori sangat mengganggu (*very disturbing*).
3. Nilai simpangan antar lantai (*story drift*) untuk metode eksperimental yang terjadi, baik dari arah x maupun arah y sudah memenuhi batas izin simpangan antar lantai sesuai ketentuan SNI 1726-2019, sehingga bangunan pabrik tersebut sudah memenuhi syarat kelayakan bangunan dalam menerima beban lateral yang terjadi.
4. Nilai *acceleration* dan frekuensi pada balok untuk arah vertikal yang diperoleh dari metode numerik masih belum memenuhi syarat kenyamanan bangunan sesuai dengan ketentuan ISO 2631-2: 1998 serta berdasarkan grafik tingkat kenyamanan akibat getaran mesin untuk frekuensi dan *displacement* termasuk dalam kategori mengganggu (*disturbing*).
5. Nilai simpangan antar lantai (*story drift*) pada metode numerik, baik dari arah x maupun arah y sudah memenuhi batas izin simpangan antar lantai

sesuai ketentuan SNI 1726-2019, sehingga bangunan pabrik tersebut aman dalam menerima beban lateral yang terjadi.

6. Berdasarkan hasil yang diperoleh dari metode eksperimental dan metode numerik terdapat perbedaan hasil yang cukup besar. Hal ini terjadi karena dalam metode numerik pemodelan dilakukan dengan menggunakan *as built drawing* sedangkan untuk metode eksperimental dilakukan pada saat bangunan sudah digunakan selama beberapa tahun, dimana bangunan sudah mengalami penurunan mutu. Selain itu, terdapat kemungkinan bahwa bangunan tersebut juga mengalami penurunan umur kelelahan (*fatigue*) karena beban berulang akibat mesin.
7. Pemasangan perkuatan dengan mengubah dimensi balok induk untuk memperoleh nilai *acceleration* arah vertikal yang sesuai dengan ketentuan ISO 2631-2: 1998 sudah memenuhi syarat kenyamanan bangunan serta berdasarkan grafik tingkat kenyamanan akibat getaran mesin untuk frekuensi dan *displacement*, termasuk dalam kategori tidak mengganggu tetapi getaran dapat dirasakan oleh pengguna bangunan.
8. Grafik yang diperoleh karena beban mesin merupakan grafik dengan pola getaran beban harmonik yang diakibatkan mesin yang beroperasi.

5.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka terdapat beberapa saran sebagai berikut:

1. Sebaiknya dilakukan penambahan perkuatan dengan cara lain yang dapat meningkatkan nilai frekuensi dan *acceleration* akibat getaran karena pada penelitian ini hanya berfokus untuk mengubah nilai *acceleration*.
2. Sebaiknya dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan metode *discrete fourier transform* (DFT) untuk menganalisis getaran yang diakibatkan oleh mesin.
3. Diperlukan penelitian kembali dengan meninjau bagian pelat lantai karena pada penelitian ini yang dilakukan penelitian hanya elemen balok dan kolom.

DAFTAR PUSTAKA

- Bachmann, H. and Ammann, W. 1987. *Vibrations in Structures Induced by Man and Machines*. Zurich: IABSE-AIPC-IVBH.
- Bachmann, H, et al. 1997. *Vibration Problems in Structures: Practical Guidelines*. Basel: Birkhäuser Verlag.
- Badan Standarisasi Nasional. 2019. *SNI 1726: 2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. 2020. *SNI 1727: 2020 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. 2020. *SNI 1729: 2020 tentang Spesifikasi untuk bangunan gedung baja structural* . Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Clough, R., W., and Penzien, J. 2003. *Dynamics of structures*. Third edition. USA: Computers & Structures, Inc.
- Gundlach. 2012. *Gundlach Service Manual*. Illinois.
- Hidayat, R., dan Wilis, G. R. 2017. *Analisis Getaran pada Kompresor Mesin Pendingin dengan Variasi Putaran (RPM)*. Vol. 15 No. 2, Oktober 2017.
- International Organization for Standardization. 1989. *ISO 2631-2: 1989 about Evaluation of Human Exposure to Whole-body Vibration Part 2: Continuous and Shock-Induced Vibration in Buildings (1 Hz–80 Hz)*. Switzerland: International Organization for Standardization.
- Ir. Oentoeng. 2000. *Konstruksi Baja*. Edisi Pertama. Yogyakarta: ANDI OFFFSET.
- Ilnytskyy. B.M., et al. 2019. *Study of the vibration influence on load-bearing floor structures in case of machinery operation*. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 708 (2019) 012052.
- Murray, T. M., et al. 2003. *Steel Design Guide Series 11 Floor Vibration Due to Human Activity*. USA: American Institute of Steel Construction, Inc.

- Renaldy, David dan Alisjahbana, S.W. 2018. *Analisis Kenyaman Pelat Lantai Terhadap Beban Mesin Bergetar*. Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran, dan Ilmu Kesehatan. Vol. 2, No. 1, April 2018: hlm 87-95. ISSN 2579-6402.
- Rimaza, D. C., dan Wiyono, R. 2014. *Pengaruh Getaran Pada Struktur Bangunan Satu Tingkat Akibat Gerakan Manusia*. Jurnal Teknik Sipil. Vol. 10 No. 2, Oktober 2014:92-203.
- Salmon, C. G., and Johson, J. E. 1997. *Struktur Baja Disain dan Perilaku*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Sinaga, S.C., 2016. *Pengaruh Frekuensi Beban Siklik Terhadap Umur Kelelahan Struktur Jembatan Rangka Baja*. (Skripsi). Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Wahyuni, Endah. 2012. *Studi Kelakuan Dinamis Struktur Jembatan Penyeberangan Orang (Jpo) Akibat Beban Individual Manusia Bergerak*. Jurnal Teknik Sipil. Vol. 19 No. 3, Desember 2012. ISSN 0853-2982.