



Analisis kelayakan struktur baja bangunan pabrik terhadap getaran mesin

Aprilia Lestari Wijaya^a, Fikri Alami^b, Ratna Widyawati^c

^a Mahasiswa Program S1 Teknik Sipil, Universitas Lampung, Jl. Soemantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung, 35145, Indonesia

^b Jurusan Teknik Sipil, Universitas Lampung, Jl. Soemantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung, 35145, Indonesia

^c Jurusan Teknik Sipil, Universitas Lampung, Jl. Soemantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung, 35145, Indonesia

HIGHLIGHTS

- Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kelayakan bangunan dengan metode eksperimental dan metode numerik.
- Getaran yang dihasilkan dari mesin yang beroperasi dapat mempengaruhi kelayakan bangunan bagi penggunanya.
- Terdapat tiga parameter dalam penentuan tingkat kelayakan bangunan yaitu *acceleration*, frekuensi alami, dan *displacement*.

INFO ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diterima 24 Januari 2022

Diterima setelah diperbaiki 15 Maret 2022

Diterima untuk diterbitkan 28 Maret 2022

Tersedia secara *online* 01 April 2022

Kata kunci:

Acceleration,
displacement,
frekuensi alami,
getaran,
kelayakan.

ABSTRAK

Tujuan 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. Penelitian ini dilakukan 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. 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. 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.

Diterbitkan oleh Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung

1. Pendahuluan

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.

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 [1]. 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

* Penulis koresponden.

Alamat E-mail: aprilialestariwijaya@gmail.com (A.L. Wijaya).
Peer review dibawah tanggung-jawab Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung.

<https://doi.org/10.23960/rekrjits.v26i1.55>

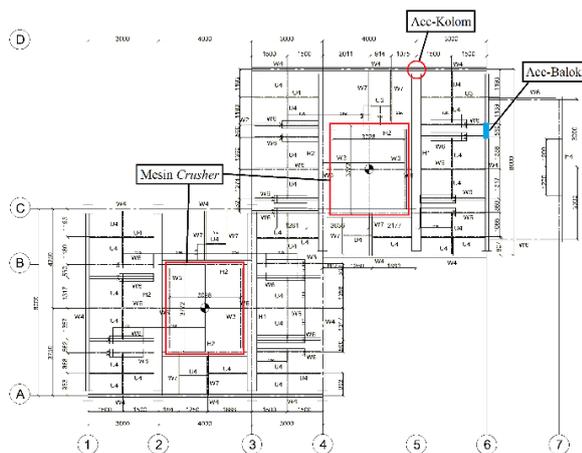
bangunan tersebut. Dengan begitu, dampak yang timbul akibat getaran pada struktur bangunan dapat diminimalisir.

Oleh sebab itu, perlu dilakukan penelitian ini yaitu pada sebuah bangunan pabrik tiga lantai, dimana pada bangunan tersebut terdapat mesin pemecah batu-bara (*stone crusher*) yang terletak di lantai 2. Mesin pemecah batu-bara ini menyebabkan getaran yang berdampak pada struktur bangunan dan seiring berjalannya waktu akan dapat menimbulkan penurunan mutu bangunan. Penelitian ini berfokus untuk mempelajari perilaku struktur baja akibat getaran mesin yang digunakan untuk menentukan tingkat kelayakan bangunan tersebut.

2. Metode Penelitian

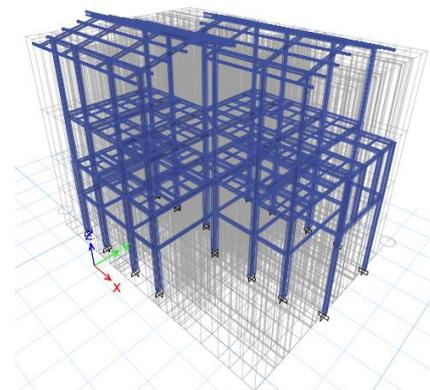
Penelitian ini dilakukan pada bangunan pabrik yang menggunakan struktur baja, terletak di Desa Tarahan, Kecamatan Katibung, Kabupaten Lampung Selatan, Povinsi Lampung. Penelitian ini mengevaluasi kelayakan bangunan dengan menggunakan metode eksperimental dan metode numerik.

Metode eksperimental pada penelitian ini adalah kegiatan investigasi lapangan 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* yang bertujuan untuk mengukur percepatan (akselerasi) akibat getaran dari mesin *crusher*. *Accelerometer* diletakkan pada balok utama dan kolom di masing-masing lantai. Hasil dari pengukuran menggunakan *accelerometer* akan dianalisis menggunakan analisis *Fast Fourier Transform* (FFT) dengan bantuan program *Logger Pro*. Tahap awal dalam analisis FFT menggunakan *Logger Pro* adalah mengatur lamanya pengambilan data (*duration*) dan banyaknya data yang terukur tiap satuan waktu. Lalu, menginput data hasil pengukuran yang didapatkan 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. Berikut ini adalah letak *accelerometer* pada lantai 2 yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Letak *accelerometer* pada lantai 2

Metode numerik (*Finite Element Analysis*) pada penelitian ini 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. 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*. Setelah itu, memasukkan pembebanan yang bekerja pada struktur pada program ETABS. Beban yang diinput berupa beban mati, beban hidup dan beban angin. Selain itu, juga dilakukan penginputan beban dinamis yang berasal dari getaran mesin. Untuk pembebanan analisis dinamis karena getaran mesin dimasukkan dengan menggunakan tipe *load case time history*. Pada analisis dinamis struktur menggunakan ETABS digunakan analisis modal untuk menentukan frekuensi alami (*natural frequency*) dari suatu struktur. 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. Pemodelan struktur pada program ETABS dapat dilihat pada Gambar 2.



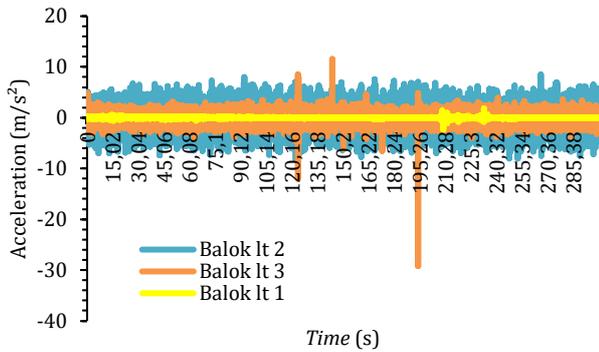
Gambar 2 Pemodelan struktur dengan ETABS

3. Hasil dan Pembahasan

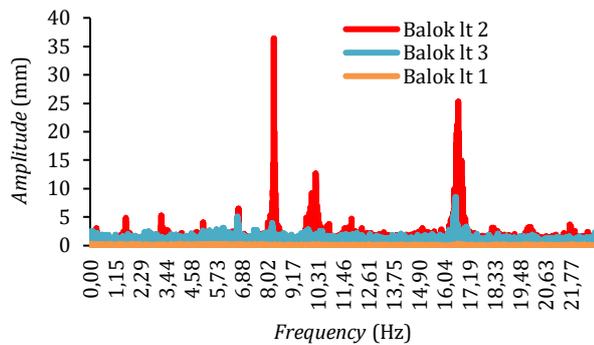
Bangunan pada penelitian ini berfungsi sebagai pabrik yang terdiri dari tiga lantai, dimana pada lantai 2 terdapat mesin *crusher* (mesin pemecah batu bara). Material yang digunakan pada bangunan struktur ini adalah material baja, baik elemen-elemen seperti balok, kolom, pelat, dan rangka atap semuanya menggunakan material baja. Jenis baja yang digunakan pada struktur bangunan ini adalah BJ 37 dengan mutu baja (f_y) 240 MPa. Untuk spesifikasi baut sebagai alat pengancang pada sambungan struktur, digunakan baut mutu tinggi (*high tension bolt*) dengan tipe A325.

3.1 Metode eksperimental

Dari data yang diperoleh di lapangan menggunakan alat *accelerometer* diperoleh hasil *acceleration* yang dapat dilihat pada Gambar 3. Sedangkan untuk analisis FFT menggunakan program *Logger Pro* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 3 Data hasil *acceleration* balok arah z dengan metode eksperimental



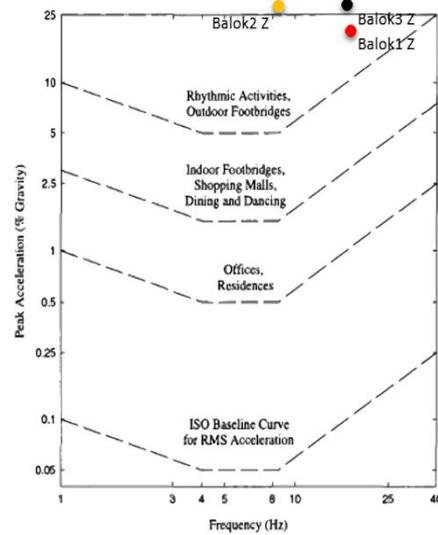
Gambar 4 Hasil analisis FFT balok arah z dengan metode eksperimental

Berdasarkan metode eksperimental diperoleh hasil bahwa nilai *acceleration* untuk arah z (arah vertikal) pada balok lantai 1 sebesar $-2,35 \text{ m/s}^2$, balok lantai 2 sebesar $8,55 \text{ m/s}^2$ dan balok di lantai 3 sebesar $-29,21 \text{ m/s}^2$. Bangunan pada penelitian ini dapat dikatakan belum memenuhi syarat kenyamanan karena nilai *acceleration* melebihi 5% gravitasi ($5\% \times 9,81 = 0,4905 \text{ m/s}^2$). Selain itu, nilai frekuensi getaran yang diperoleh belum memenuhi syarat tingkat kenyamanan bangunan pabrik, yaitu sebesar 4-8 Hz. Nilai *displacement* yang diperoleh dari metode eksperimental untuk balok lantai 1 sebesar 0,51 mm, lantai 2 sebesar 60,2 mm dan untuk lantai 3 sebesar 17,12 mm. Untuk tingkat kenyamanan berdasarkan *displacement* dan frekuensi akibat getaran mesin, nilai *displacement* dan frekuensi yang diperoleh dari hasil di lapangan menyatakan bahwa bangunan tersebut termasuk kedalam kategori *very disturbing* atau sangat mengganggu. Untuk lebih jelasnya mengenai tingkat kenyamanan bangunan dapat dilihat pada Gambar 5.

2.2 Metode numerik

Metode numerik yang dilakukan pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan program bantuan ETABS dalam menganalisis bangunan struktur. Pada kegiatan ini bertujuan untuk memperoleh *output* berupa *acceleration*, frekuensi alami dan *displacement* dari program ETABS. Berdasarkan *output* yang telah diperoleh tersebut dilakukan pengecekan terhadap evaluasi elemen struktur untuk mengetahui kelayakan struktur tersebut. Pembebanan yang digunakan dalam pemodelan struktur berupa beban mati (*dead load*), beban hidup (*live load*), beban angin dan beban dinamis dari getaran mesin. Berikut adalah pembebanan yang digunakan pada penelitian ini: berat sendiri baja (*dead load*) $78,5 \text{ kN/m}^3$, beban mati

tambahan (*super dead load*) terdiri dari berat mesin *crusher* $431,3 \text{ kN}$ dan berat *grating plate* $3,148 \text{ kN/m}^2$, beban hidup bangunan (*live load*) $6,00 \text{ kN/m}^2$ dan beban hidup atap (*roof live load*) $0,24 \text{ kN/m}^2$.



Keterangan Gambar:

— Balok1 Z — Balok2 Z — Balok3 Z

Gambar 5 Tingkat kenyamanan bangunan berdasarkan berdasarkan *acceleration* dan frekuensi untuk metode eksperimental [2]

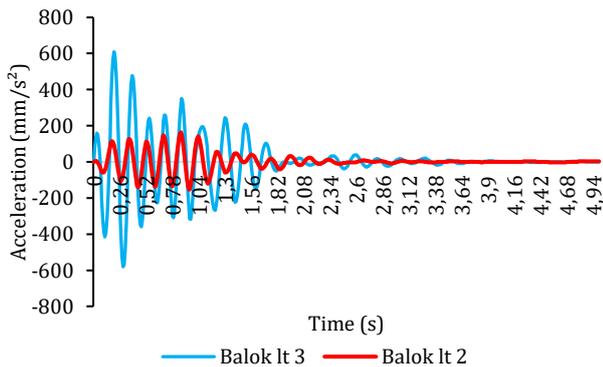
Selain pembebanan di atas, terdapat beban lateral berupa beban angin dan beban dinamis. Beban angin diperoleh dari perhitungan analisis dengan menggunakan parameter yang diperoleh berdasarkan SNI 1727 (2020) [3]. Sedangkan beban dinamis akibat getaran mesin diperoleh dari perhitungan analisis dinamis berdasarkan data pada spesifikasi mesin.

Kombinasi pembebanan yang digunakan mengacu pada ketentuan SNI 1727 (2020) Pasal 2.3. Adapun kombinasi pembebanan tambahan dimana pada kombinasi tersebut ditambahkan beban dinamis akibat mesin. Berikut adalah kombinasi pembebanan yang digunakan: (a) 1,4 (DL + SDL), (b) 1,2 (DL + SDL) + 1,6LL + 0,5LR, (c) 1,2 (DL + SDL) + 1,6LR + 0,5Wx + 0,5Wy, (d) 1,2 (DL + SDL) + 1,0Wx + 1,0Wy + 1,0LL + 0,5LR, (e) 1,0SM + 1,0DM (*base line*), (f) 1,4 (DL + SDL) + 1,4SM + 1,4DM, (g) 1,2 (DL + SDL) + 1,2SM + 1,2DM + 1,6LL + 0,5LR, (h) 1,2 (DL + SDL) + 1,2SM + 1,2DM + 1,6LR + 0,5Wx + 0,5Wy, (i) 1,2 (DL + SDL) + 1,2SM + 1,2DM + 1,0Wx + 1,0Wy + 1,0LL + 0,5LR

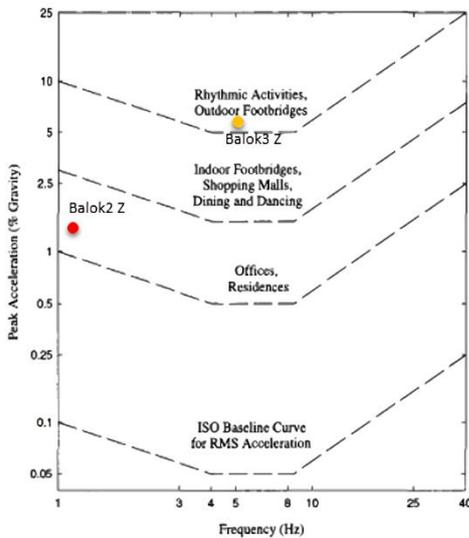
dengan DL adalah beban mati sendiri, SDL adalah beban mati tambahan, LL adalah beban hidup, LR adalah beban hidup atap, W adalah beban angin, SM adalah beban statis mesin/berat mesin dan DM adalah beban dinamis mesin.

Pada program ETABS beban dinamis untuk penelitian ini dilakukan dengan *function time history*. Hasil analisis dinamis dengan program ETABS dapat dilihat pada Gambar 6. Berdasarkan hasil yang didapat dengan menggunakan program ETABS, diperoleh hasil *acceleration* arah vertikal untuk balok di lantai 2 sebesar $0,1638 \text{ m/s}^2$ dan balok lantai 3 sebesar $0,6096 \text{ m/s}^2$, dimana untuk balok di lantai 2 sudah memenuhi syarat nyaman sedangkan balok di lantai 3 belum memenuhi batasan limit *acceleration* untuk tingkat kenyamanan, yaitu 5% gravitasi = $5\% \times 9,81 = 0,4905 \text{ m/s}^2$.

Untuk nilai frekuensi pada balok di lantai 2 belum memenuhi syarat kenyamanan bangunan, hanya balok di lantai 3 yang sudah memenuhi batasan limit frekuensi untuk tingkat kenyamanan. Batasan limit nilai frekuensi sebuah bangunan pabrik dikatakan nyaman adalah 4-8 Hz. Untuk lebih jelasnya mengenai grafik tingkat kenyamanan bangunan dapat dilihat pada Gambar 7. Untuk nilai *displacement* yang diperoleh dari metode numerik pada balok lantai 2 sebesar 0,2880 mm dan untuk balok lantai 3 sebesar -0,7755 mm, dimana nilai tersebut belum memenuhi syarat kenyamanan bangunan dan termasuk dalam kategori mengganggu (*disturbing*). Berdasarkan kondisi tersebut dapat dinyatakan bahwa kenyamanan yang diperoleh belum cukup baik untuk elemen balok. Oleh karena itu, diperlukan penguatan pada bangunan pabrik untuk menambah kekakuan serta agar bangunan tersebut memenuhi syarat kenyamanan bangunan untuk manusia. Grafik tingkat kenyamanan dan kelayakan berdasarkan frekuensi dan *displacement* dapat dilihat pada Gambar 8.

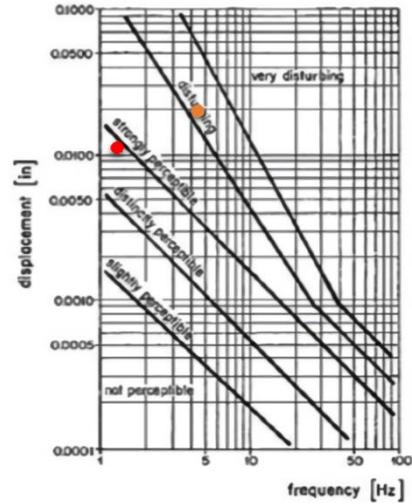


Gambar 6 Hasil *acceleration* balok arah z dengan metode numerik



Keterangan Gambar:
 — Balok2 Z — Balok3 Z

Gambar 7 Tingkat kenyamanan bangunan berdasarkan *acceleration* dan frekuensi untuk metode numerik

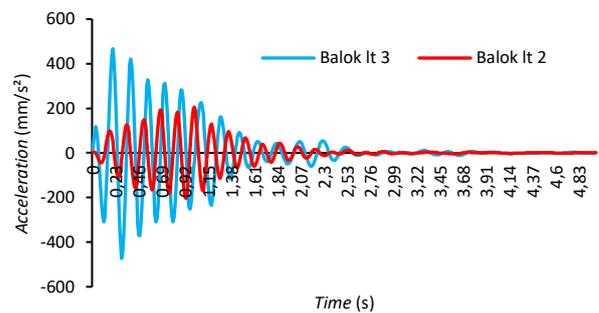


Keterangan Gambar:
 — Balok Lt 2 — Balok Lt 3

Gambar 8 Tingkat kenyamanan bangunan berdasarkan *displacement* dan frekuensi untuk metode numerik [4]

2.3 Penguatan

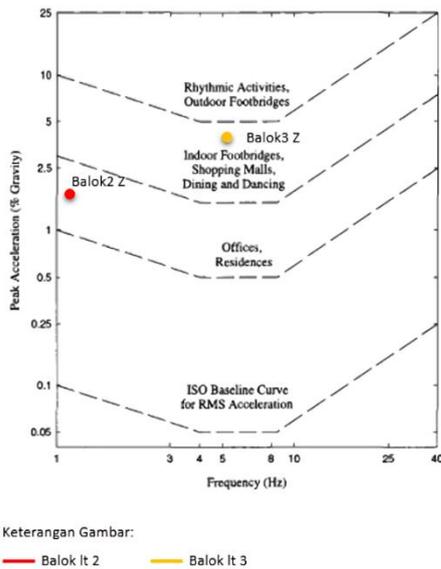
Penguatan pada bangunan pabrik dilakukan untuk mengubah nilai *acceleration* arah vertikal pada balok agar memenuhi nilai batas limit *acceleration* dalam tingkat kenyamanan manusia. Penguatan pada penelitian ini adalah dengan mengubah dimensi pada balok induk, sehingga mencapai nilai *acceleration* yang disyaratkan. Penguatan dilakukan dengan melakukan analisis struktur dengan program ETABS. Berikut merupakan grafik hasil analisis setelah penguatan yang dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Hasil *acceleration* balok arah z setelah dilakukan penguatan

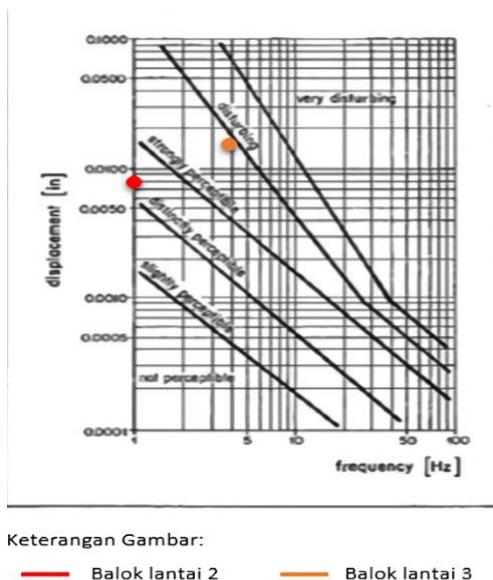
Setelah dilakukan penguatan, yaitu perubahan dimensi pada balok induk diperoleh nilai *acceleration* arah vertikal untuk balok di lantai 2 sebesar 0,2055 m/s² (2,09% g) dan untuk balok di lantai 3 sebesar -0,4732 m/s² (4,82% g). Nilai frekuensi setelah penguatan mengalami perubahan untuk balok lantai 2 dan belum memenuhi syarat batasan kenyamanan sedangkan frekuensi balok di lantai 3 sudah memenuhi syarat kenyamanan bangunan karena frekuensi yang dihasilkan sebesar 5 Hz atau berada pada nilai 4 – 8 Hz, dimana pada nilai tersebut bangunan dikatakan nyaman dan layak untuk pengguna bangunan. Grafik tingkat kenyamanan

dan kelayakan berdasarkan acceleration dan frekuensi dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10 Tingkat kenyamanan bangunan berdasarkan acceleration dan frekuensi setelah dilakukan perkuatan

Nilai *displacement* yang diperoleh setelah dilakukan perkuatan untuk balok lantai 2 sebesar 0,2031 mm dan untuk balok lantai 3 sebesar -0,4713 mm. Berdasarkan tingkat kenyamanan untuk frekuensi dan *displacement* diperoleh hasil bahwa bangunan setelah mengalami perkuatan termasuk dalam kategori tidak mengganggu tapi getaran dapat dirasakan oleh pengguna bangunan. Berdasarkan grafik tingkat kenyamanan frekuensi dan acceleration serta grafik tingkat kenyamanan *displacement* dan frekuensi diperoleh hasil bahwa balok setelah mengalami perkuatan sudah memenuhi syarat kenyamanan bangunan bagi manusia. Untuk grafik tingkat kenyamanan berdasarkan frekuensi dan *displacement* dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11 Tingkat kenyamanan bangunan berdasarkan displacement dan frekuensi setelah dilakukan perkuatan

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini maka dapat disimpulkan bahwa nilai *acceleration*, frekuensi alami dan *displacement* untuk balok arah vertikal yang diperoleh, baik dari metode eksperimental maupun metode numerik belum memenuhi syarat bangunan pabrik untuk dikatakan nyaman dan termasuk dalam kategori mengganggu. Selain itu, pemasangan perkuatan dengan mengubah dimensi balok induk untuk memperoleh nilai *acceleration* arah vertikal yang sesuai dengan ketentuan ISO 2631-2 1989 [5] 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.

Daftar Pustaka

- [1] Rimaza, D.C., Wiyono, D.R.: Pengaruh getaran pada struktur bangunan satu tingkat akibat gerakan manusia. *Jurnal Teknik Sipil*, **10**, 2, 2014, 92–203.
- [2] Murray, T.M., Allen, D.E., Ungar, E.E.: *Steel design guide 11th series "floor vibrations due to human activity"*. American Institute of Steel Construction, USA, 2003.
- [3] *Badan Standarisasi Nasional: SNI 1727: 2020 tentang beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain*. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta, 2020.
- [4] Bachmann, H., Ammann, W.: *Vibrations in structures induced by man and machines*. IABSE-AIPC-IVBH, Zurich, 1987.
- [5] *International Organization for Standardization: ISO 2631-2 Evaluation of human exposure to whole-body vibration Part 2: Continuous and shock-induced vibration in buildings (1 Hz–80 Hz)*. International Organization for Standardization, Switzerland, 1989.