



## Investigasi Masalah Getaran Pada Struktur Portal Baja Akibat Getaran Mesin Crusher

Fikri Alami<sup>a\*</sup>, Vera Agustriana Noorhidana<sup>a</sup>, Ratna Widyawati<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Jurusan Teknik Sipil, Universitas Lampung, Jl. Soemantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung, 35145, Indonesia

### HIGHLIGHTS

- Percepatan getaran vertikal saat mesin beroperasi mencapai 141% G, jauh di atas ambang batas kenyamanan bangunan sebesar 5% G
- Terdapat deviasi antara data lapangan dan pemodelan SAP2000 karena penurunan mutu material baja eksisting akibat masa layan gedung.
- Getaran berlebih dengan amplitudo mencapai 30,9 mm berpotensi mengganggu proses produksi batu bara dan membahayakan stabilitas struktur portal baja.

### INFO ARTIKEL

*Kata kunci:*  
Getaran;  
Frekuensi Alami;  
Crusher;

### ABSTRAK

Getaran berlebihan pada struktur industri sering kali mengabaikan aspek kenyamanan meskipun secara kekuatan desain telah terpenuhi. Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi respon dinamik struktur portal baja empat lantai akibat beban mesin penghancur batu bara (*crusher coal*) guna mengevaluasi stabilitas dan kenyamanan bangunan. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimental lapangan menggunakan sensor accelerometer dan simulasi numerik berbasis Finite Element Analysis (FEA) dengan perangkat lunak SAP2000 sebagai pembanding. Hasil investigasi menunjukkan bahwa percepatan getaran vertikal saat mesin beroperasi mencapai 141% G, nilai yang jauh melampaui ambang batas kenyamanan standar sebesar 5% G. Ditemukan pula deviasi antara hasil pemodelan numerik dan data lapangan yang mengindikasikan adanya penurunan mutu material pada struktur eksisting akibat masa layan. Kesimpulan penelitian menegaskan bahwa getaran berlebih dengan amplitudo mencapai 30,9 mm tidak hanya mengganggu proses produksi, tetapi juga membahayakan stabilitas jangka panjang struktur portal baja. Diperlukan langkah mitigasi atau penguatan untuk mengatasi dampak getaran tersebut.

Diterbitkan oleh Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung

### 1. Pendahuluan

Getaran berlebihan pada pelat lantai dapat disebabkan oleh eksitasi dari kegiatan manusia, eksitasi mesin, dan gaya luar lainnya [1]. Metode desain kapasitas yang memungkinkan pelat didesain lebih tipis dan efektif, walaupun dari segi kekuatan mampu [2], namun kenyamanan menjadi faktor yang tidak dipertimbangkan dalam standar yang berlaku [3]. Getaran yang masuk syarat kenyamanan untuk sistem pelat lantai memiliki frekuensi antara 4 Hz sampai dengan 8 Hz [4]. Struktur portal rangka baja pada Gambar 1.

#### 1.1 Standar Kenyamanan

Kriteria yang dapat diterima untuk kenyamanan manusia yang direkomendasikan menurut International Standard Organization (ISO 2631-2, 1989) yang disesuaikan dengan hunian yang dituju [5].



**Gambar 1.** Gedung rangka baja 3 lantai yang berfungsi sebagai bangunan crusher batu bara

\* Penulis koresponden.

Alamat E-mail: [fikri.alami@eng.unila.ac.id](mailto:fikri.alami@eng.unila.ac.id) (Fikri).

Peer review dibawah tanggung-jawab Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung.

## 2. Metodologi

### 2.1 Metode Eksperimental

Kegiatan analisis struktur bertujuan untuk menganalisis elemen-elemen struktur baik secara partial maupun secara keseluruhan dalam menentukan kekuatan struktur bangunan dalam menahan beban-beban rencana yang bekerja termasuk beban getaran yang berasal dari mesin utama crusher [6-7]. Dengan software FEA bangunan dapat dimodelkan kembali dan pembebanan yang berasal dari beban gempa, angin maupun beban getaran mesin dapat disimulasikan untuk memperoleh respon gedung secara keseluruhan maupun respon pada elemen-elemen utama yang di amati pada proses investigasi lapangan [7-8].

### 2.2 Metode Numerik

Metode numerik dalam kajian ini diimplementasikan melalui penggunaan perangkat lunak Finite Element Analysis (FEA) untuk mensimulasikan respon dinamik struktur portal baja secara menyeluruh [9]. Proses ini diawali dengan pemodelan geometri gedung rangka baja 4 lantai sesuai dimensi aktual di lapangan, yang kemudian diberikan beban eksitasi dinamik dari mesin crusher di lantai 2 serta beban lingkungan seperti angin dan gempa untuk memperoleh gambaran perilaku struktur yang representatif [10]. Perangkat lunak tersebut digunakan untuk menganalisis parameter frekuensi alami serta nilai percepatan (acceleration) pada titik-titik kritis (joint) seperti balok induk dan kolom, yang hasilnya kemudian divalidasi dengan membandingkannya terhadap data investigasi eksperimental lapangan. Komparasi ini sangat krusial karena model numerik pada awalnya menggunakan asumsi mutu baja standar baru, sehingga deviasi yang ditemukan terhadap data lapangan dapat memberikan indikasi tingkat penurunan mutu material pada bangunan eksisting akibat masa layannya

## 3. Hasil dan pembahasan

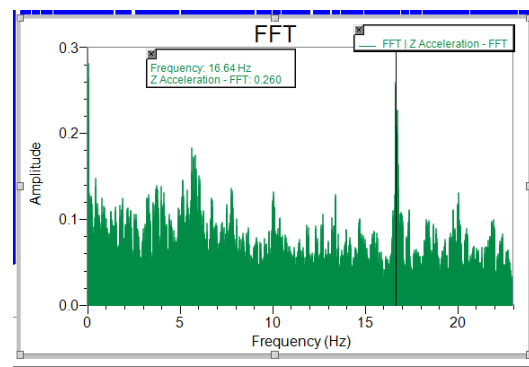
### 3.1 Frekuensi Alami

Investigasi frekuensi alami dilakukan pada dua elemen utama, yaitu pelat lantai (grated steel) dan balok induk dalam kondisi mesin crusher diam. Berdasarkan pengujian menggunakan accelerometer kabel pada lantai pelat baja, diperoleh nilai frekuensi alami sebesar 16,64 Hz dengan amplitudo 0,260 mm. Sementara itu, pengujian pada balok induk menggunakan accelerometer Bluetooth menunjukkan frekuensi alami yang sedikit lebih tinggi, yakni 20,00 Hz dengan amplitudo 0,155 mm.

Nilai frekuensi alami ini secara signifikan berada di atas rentang standar kenyamanan sistem pelat lantai konvensional yang biasanya berkisar antara 4 Hz hingga 8 Hz. Hal ini mengindikasikan bahwa secara struktural, kekakuan elemen pelat dan balok dalam kondisi statis sangat tinggi, namun responnya berubah drastis saat beban dinamik mesin bekerja



Gambar 2. Pemasangan accelerometer kabel diletakkan pada lantai pelat baja (grated steel slab).

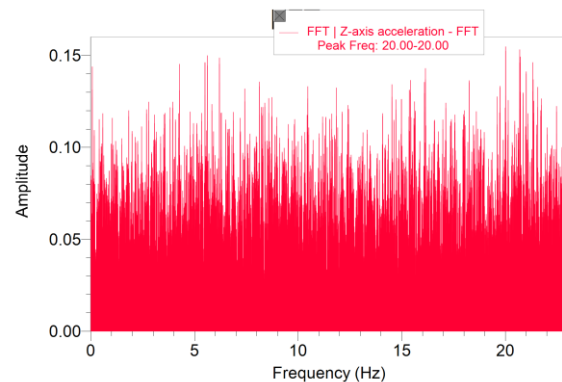


Gambar 3. Frekuensi Alami Pelat (Grated plate) arah Z dari Acc-Kabel,  $f=16,64$  Hz dan Amplitudo = 0,260 mm.

### 3.2 Karakteristik Getaran dan Respon Dinamik

Respon getaran gedung dianalisis dalam dua skenario: saat mesin diam dan saat mesin beroperasi. Data pada Tabel 1 menunjukkan bahwa bahkan dalam kondisi diam, percepatan vertikal (arah-Z) pada lantai baja mencapai -2,354  $m/s^2$ . Angka ini sudah melampaui ambang batas kenyamanan yang disyaratkan dalam ISO 2631-2.

Saat mesin crusher beroperasi, terjadi peningkatan eksitasi yang sangat signifikan pada seluruh elemen struktur. Pada balok induk Lantai 1 (Tabel 3), percepatan meningkat tajam menjadi -1,556  $m/s^2$  (X), -3,156  $m/s^2$  (Y), dan -4,468  $m/s^2$  (Z). Peningkatan percepatan ini mencapai nilai 141% G pada arah vertikal, yang jauh melampaui batas standar kenyamanan bangunan gedung sebesar 5% Gravitasi ( $0,4905 m/s^2$ )

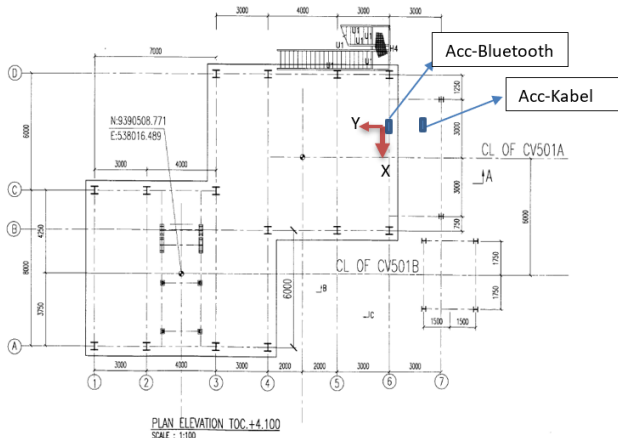


Gambar 4. Frekuensi Alami (Balok) arah Z dari Acc-BT,  $f=20$  Hz dan Amplitudo = 0,155 mm

3.3 Perbandingan Eksperimental dan Numerik (FEA)

Hasil pemodelan menggunakan perangkat lunak SAP2000 menunjukkan nilai percepatan yang secara umum lebih rendah dibandingkan hasil survei lapangan. Sebagai contoh, pada kolom Lantai 1, pemodelan numerik menghasilkan percepatan arah-Y sebesar  $1,09 \text{ m/s}^2$ , sedangkan investigasi lapangan mencatat angka  $1,475 \text{ m/s}^2$ .

Perbedaan ini disebabkan oleh penurunan mutu material baja secara aktual di lapangan akibat masa layan (*existing condition*) yang tidak terakomodasi sepenuhnya dalam parameter material standar pada pemodelan numerik. Getaran berlebihan ini tidak hanya memengaruhi kenyamanan pengguna, tetapi juga berpotensi mengganggu performa produksi mesin *crusher* dalam jangka panjang akibat simpangan (amplitudo) maksimum yang mencapai 30,9 mm pada arah-Y.



Gambar 4. Pemasangan accelerometer kabel diletakkan pada lantai pelat baja (grated steel slab)

Tabel 1 . Getaran Pada Lantai Baja Pada Saat Kondisi Diam

Acc- Bluetooth (BT)		Acc	Freq	Amplitudo
		$\text{m/s}^2$	Hz	mm
Horizontal	Arah-X	-0,677	16,65	0,275
Horizontal	Arah-Y	0,8605	16,65	0,269
Vertikal	Arah-Z	-2,354	16,65	0,26

Tabel 2 . Getaran Pada Balok Induk Lantai 1 Pada Saat Kondisi Diam

Acc- Bluetooth (BT)		Acc	Freq	Amplitudo
		$\text{m/s}^2$	Hz	mm
Horizontal	Arah-X	0,3256	20,15	0,134
Horizontal	Arah-Y	-0,3208	20,78	0,205
Vertikal	Arah-Z	-0,5363	20,00	0,155

Tabel 3. Getaran Pada Balok Induk Lantai 1 Pada Saat Mesin Bergetar

Acc- Bluetooth (BT)		Acc	Freq	Amplitudo
		$\text{m/s}^2$	Hz	mm
Horizontal	Arah-X	-1,556	6,71	3,45
Horizontal	Arah-Y	-3,156	6,71	5,81
Vertikal	Arah-Z	-4,468	7,91	2,24

Tabel 4 . Getaran Pada Kolom Lantai 1 Pada Saat Mesin Bergetar

Acc- Bluetooth (BT)		Acc	Freq	Amplitudo
		$\text{m/s}^2$	Hz	mm
Horizontal	Arah-X	-0,632	6,75	0,824
Horizontal	Arah-Y	1,475	6,74	3,36
Vertikal	Arah-Z	-2,131	6,74	4,42

4. Kesimpulan

Kesimpulan penelitian ini adalah:

- Untuk lantai 1, berdasarkan hasil uji lapangan, diperoleh bahwa getaran pada bangunan utama saat gedung diam (mesin *crusher* diam) mengacu ke Tabel 3 didapat bahwa percepatan lantai baik arah horizontal X dan Y serta Vertikal Z semuanya melampaui nilai 5% Gravitasi sebagai batas kenyamanan bangunan gedung seperti yang ditunjukkan pada gambar kurva dibawah ini. Nilai survey lapangan diperoleh percepatan sebesar 6,9% arah X, 8,722% arah Y dan 24% arah Z.
- Saat mesin beroperasi, pada lantai 1 getaran semakin meningkat dan percepatan juga semakin meningkat dibandingkan saat mesin *crusher* diam. Percepatan Arah X, Y dan Z menjadi sebesar 31,3% G, 61,8% G dan 141% G secara berurutan. Percepatan yang berlebihan dan melewati standar ini tentunya akan mempengaruhi produksi dari mesin *crusher* dalam menghasilkan produk batu bara yang diinginkan
- Berdasarkan hasil survey investigasi lapangan, data percepatan pada kolom Lantai 1 (Tabel 3.3) menunjukkan bahwa nilai yang melebihi standar kenyamanan yaitu sebesar 5% G (atau  $0,4905 \text{ m/s}^2$ ) yaitu sebesar  $0,632 \text{ m/s}^2$ ,  $1,475 \text{ m/s}^2$ , dan  $2,131 \text{ m/s}^2$  untuk percepatan Arah vertikal  $U_x$ , arah horizontal  $U_y$  dan  $U_z$  secara berurutan Hal ini juga mendekati hasil pemodelan yang di rangkum dalam Tabel 4.5 yang menghasilkan nilai percepatan  $U_x$ ,  $U_y$  dan  $U_z$  secara berurutan sebesar  $0,19 \text{ m/s}^2$ ,  $1,09 \text{ m/s}^2$  dan  $0,133 \text{ m/s}^2$ . Nilai pemodelan dari SAP2000 lebih kecil dibandingkan dengan hasil survey lapangan dikarenakan di lapangan mutu material baja sudah mengalami penurunan akibat masa layannya. Sedangkan dalam pemodelan SAP2000 mutu baja masih dipakai dengan mutu baja standar baru.
- Pada joint 598 (posisi pelat LT 1), menghasilkan percepatan  $U_x$ ,  $U_y$  dan  $U_z$  secara berurutan sebesar  $3,44 \text{ m/s}^2$ ,  $0,635 \text{ m/s}^2$  dan  $2,129 \text{ m/s}^2$ . Dimana semua hasil percepatan dari survey lapangan masih diatas standar yaitu maksimal sebesar 5% G (atau  $0,49 \text{ m/s}^2$ ).

Sementara jika dibandingkan dengan data getaran yang berasal dari investigasi lapangan (Tabel 3.2), didapat percepatan horizontal  $U_x$ , dan  $U_y$  serta percepatan vertikal  $U_z$  secara berurutan sebesar  $1,556 \text{ m/s}^2$ ,  $3,156 \text{ m/s}^2$  dan  $4,468 \text{ m/s}^2$ . Hasil percepatan eksperimental dan pemodelan ini menunjukkan nilai yang tidak terpaut jauh. Namun semua hasil menunjukkan bahwa semua percepatan menghasilkan percepatan maksimum yang melebihi standar yaitu sebesar  $0,5\% \text{ G}$  (atau  $0,49 \text{ m/s}^2$ ).

5. Untuk lantai 2, berdasarkan Gambar 4.12 dan hasil rangkuman Tabel 4.6, getaran pada lantai/balok di joint 52 menunjukkan nilai percepatan  $U_x$ ,  $U_y$  dan  $U_z$  secara berurutan sebesar  $0,3468 \text{ m/s}^2$ ,  $0,41 \text{ m/s}^2$  dan  $0,23 \text{ m/s}^2$ . Semua nilai ini masih dibawah standar  $0,5\% \text{ G}$ , namun hasil dari survey menunjukkan nilai-nilai percepatan diatas sudah melebihi  $0,5\% \text{ G}$ . Percepatan pada posisi joint 52 berdasarkan hasil investigasi lapangan adalah sebesar  $2,634 \text{ m/s}^2$ ,  $3,74 \text{ m/s}^2$  dan  $4,247 \text{ m/s}^2$  untuk percepatan arah horizontal  $U_x$ , dan  $U_y$  serta percepatan vertikal  $U_z$ . Nilai frequency saat mesin beroperasi adalah sebesar  $f = 6,72 \text{ Hz}$ ,  $6,67 \text{ Hz}$  dan  $16,63 \text{ Hz}$ , untuk arah X, Y dan Z secara berurutan. Frequency arah horizontal masih dalam rentang  $4 \text{ s/d}$   $8 \text{ Hz}$  yang dianggap nyaman untuk manusia, sedangkan arah vertikal sudah melampaui.
6. Pada joint 54 posisi kolom, percepatan arah horizontal X dan Y menghasilkan nilai sebesar  $0,347 \text{ m/s}^2$ ,  $1,522 \text{ m/s}^2$  dan percepatan vertikal arah Z sebesar  $0,23 \text{ m/s}^2$ . Nilai ini lebih kecil jika dibandingkan dengan percepatan yang dihasilkan dari hasil investigasi lapangan yaitu sebesar  $3,098 \text{ m/s}^2$ ,  $7,863 \text{ m/s}^2$  dan  $4,233 \text{ m/s}^2$  secara berurutan dalam arah X (arah vertikal), Y dan Z (arah horizontal). Dengan nilai amplitude maksimum sebesar  $30,9 \text{ mm}$  dalam arah Y, atau simpangan sebesar  $61,8 \text{ mm}$  ( $2x$  amplitudo).

### Ucapan terima kasih

Penulis diharapkan menuliskan ucapan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Universitas Lampung atas bantuan dana penelitian.

### 5. Pustaka

- [1] Hanagan, L. M. (1994). Active Control of Floor Vibration. In Dissertation. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- [2] Collette F. (2004). Comfort an Vibrations on Floors due to Walking Loads. CQWI Publications, The Scandinavian Vibration Society (SVIB). Stockholm.
- [3] Murray, T.M., Allen, D.E. and Ungar, E.E. (1997), Steel Design Guide Series 11: Floor Vibrations due to Human Activity (Chicago: American Institute of Steel Construction).
- [4] J. Snoj, M. Österreicher, and M. Dolšek. (2013). The importance of ambient and forced vibration measurements for the results of seismic performance assessment of buildings obtained by using a simplified non-linear procedure: case study of an old masonry building. DOI 10.1007/s10518-013-9494-8.
- [5] ISO 2631-2 (2003). Guide to the evaluation of human exposure to whole body vibration. Part 2- Vibrationin buildings., International Organization for Standardization.
- [6] Junges P, Rovere H.L.L. and Pinto R.C.D.A, Vibration Analysis of a Composites Concrete/GFRP Slab Induced by Human Activities. Journal of Composite Science. 2017
- [7] BCSEA. (2016). Steel Construction: Floor Vibration. British Constructional Steelwork Association.
- [8] Dias Junior, M. (2009). Dinâmica de Rotores. In Proceedings of IV Congresso da Academia Trinacional de Ciências, Foz do Iguaçu, Paraná/PR, Brazil.
- [9] Renaldy, D., K., Alisjahbana, S., W. (2018). Analisis Kenyamanan Pelat Lantai Terhadap Beban Mesin Bergetar. Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran, dan Ilmu Kesehatan. Vol. 2, No.1, p. 87-95.
- [10] Allen, D., E., and Murray, T., M. (1993). Design Criterion for Vibrations Due to Walking. AISC Engineering Journal, 4th Qtr, p. 117-129.