

ANALISIS KENYAMANAN PELAT LANTAI TERHADAP BEBAN MESIN BERGETAR

David Kevin Renaldy¹, Sofia W. Alisjahbana²

¹Program Magister Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara Jakarta

Email: david.krenaldy@gmail.com

²Guru Besar, Universitas Bakrie Jakarta

Email: sofia.wangsadinata@gmail.com

ABSTRAK

Dalam mendesain sebuah pelat lantai, bukan hanya kekuatan yang perlu diperhatikan, tetapi kenyamanan pelat juga merupakan salah satu hal yang perlu diperhatikan. Getaran mesin di atas pelat lantai akan menghasilkan gaya dinamik yang dapat menyebabkan vibrasi atau getaran yang cukup besar. Getaran tersebut dapat mengakibatkan ketidaknyamanan bagi pengguna bangunan. Getaran juga dapat mempengaruhi ketepatan hasil test di laboratorium. Pelat lantai yang paling umum digunakan adalah pelat lantai beton bertulang. Sistem pelat lantai beton bertulang mempunyai banyak keuntungan, diantaranya adalah mampu mendukung beban besar, memiliki isolasi suara yang baik, kedap air sehingga baik untuk kamar mandi maupun dapur basah, merupakan bahan yang awet jika dibandingkan dengan kayu yang memerlukan perawatan lebih. Selain keuntungan-keuntungan yang telah dikemukakan tersebut, sistem pelat lantai beton bertulang juga mempunyai kekurangan, salah satunya adalah biaya dari material yang cukup tinggi. Untuk meningkatkan tingkat kenyamanan pelat lantai beton bertulang dapat dilakukan beberapa hal, antara lain adalah menambah ketebalan pelat dan menambahkan balok anak. Penelitian ini akan mengkaji perbandingan peningkatan kenyamanan pelat dengan cara menambah ketebalan pelat dan menambah jumlah balok anak. Penelitian ini akan memberikan solusi cara mana yang lebih efisien dalam meningkatkan kenyamanan pelat. Dengan demikian perlu juga dikaji kriteria kenyamanan pelat terhadap beban bergetar. Kemudian analisis terhadap 3 buah model dilakukan untuk mendapatkan defleksi absolut maksimum dan frekuensi pelat untuk kemudian dimasukkan ke dalam kriteria kenyamanan pelat. Model 1 merupakan sebuah pelat lantai yang memiliki tingkat kenyamanan yang tidak baik, model 2 merupakan pelat dari model 1 yang ditambahkan ketebalannya, model 3 merupakan pelat dari model 1 yang ditambahkan balok anak. Analisis dilakukan dengan menggunakan bantuan program Wolfram Mathematica. Dari hasil penelitian ini didapatkan bahwa penambahan balok anak dibandingkan dengan penambahan ketebalan pelat lebih efisien untuk meningkatkan kenyamanan pelat.

Kata kunci: vibrasi pelat lantai, getaran mesin, kriteria kenyamanan pelat, defleksi maksimum pelat, frekuensi pelat

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Pelat lantai merupakan salah satu komponen struktur konstruksi suatu bangunan. Pelat lantai adalah struktur yang pertama kali menerima beban, baik itu beban mati maupun beban hidup yang kemudian disalurkan ke komponen struktur lainnya. Dalam mendesain suatu pelat lantai, bukan hanya kekuatan yang perlu diperhatikan, kenyamanan pelat juga merupakan salah satu hal penting. Getaran mesin di atas pelat lantai akan mengakibatkan pelat ikut bergetar. Getaran tersebut dapat mengakibatkan ketidaknyamanan bagi pengguna bangunan.

Berkaitan dengan kenyamanan pelat lantai tersebut, maka perlu dipelajari lebih lanjut mengenai respons dinamik pelat lantai akibat getaran beban mesin dan kriteria kenyamanan pelat. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi respons dinamik pelat, diantaranya adalah bentang pelat ke tumpuan, ketebalan pelat, perletakan pelat, beban pelat, dan kekakuan pelat.

Pelat lantai yang paling umum digunakan adalah pelat lantai beton bertulang. Sistem pelat lantai beton bertulang mempunyai banyak keuntungan, diantaranya adalah mampu mendukung beban besar, memiliki isolasi suara yang baik, kedap air sehingga baik untuk kamar mandi maupun dapur basah, merupakan bahan yang awet jika dibandingkan dengan kayu yang memerlukan

perawatan lebih. Selain keuntungan-keuntungan yang telah dikemukakan tersebut, sistem pelat lantai beton bertulang juga mempunyai kekurangan, salah satunya adalah biaya dari material yang cukup tinggi.

Dalam peningkatan kenyamanan pelat lantai beton bertulang, ada beberapa hal yang dapat dilakukan. Diantaranya adalah menambah ketebalan pelat dan menambahkan balok anak. Penelitian yang lebih mendalam tentang perbandingan penambahan balok anak dengan penambahan ketebalan pelat diperlukan untuk memperoleh pelat dengan tingkat kenyamanan yang baik. Dengan demikian, investigasi lebih lanjut yang bertujuan agar dapat meningkatkan pengertian yang lebih mendalam mengenai perilaku sistem pelat lantai beton bertulang akibat beban dinamik, yang berhubungan dengan kenyamanan pelat perlu dikaji lebih lanjut, terutama akibat getaran beban mesin. Sehingga didapatkan solusi yang terbaik.

Kriteria Kenyamanan Pelat

Pada umumnya, getaran pada pelat lantai dianggap sebagai masalah kemampuan layan suatu bangunan. Terutama berhubungan dengan ketidaknyamanan bagi pengguna bangunan maupun kerusakan pada peralatan yang sensitif. Saat membicarakan tentang peralatan yang sensitif, secara garis besar hal tersebut bersinggungan dengan amplitudo percepatan, kecepatan maupun defleksi yang diijinkan. Berbeda dengan hal tersebut, kenyamanan pengguna bangunan tidak bisa dideskripsikan dengan jelas, karena sangat bergantung pada banyak faktor.

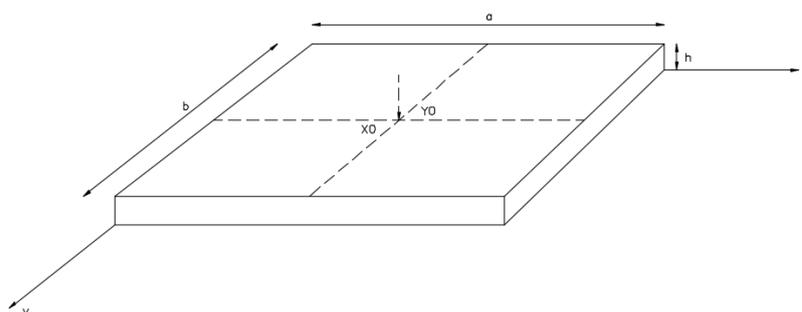
Pada prinsipnya, kepekaan manusia terhadap getaran mekanik sangatlah halus. Sebagai contoh, tubuh manusia mampu menyadari perubahan amplitudo getaran sebesar 0.001mm, bahkan ujung jari manusia dapat mendeteksi amplitudo getaran 20 kali lebih kecil. Namun, reaksi manusia terhadap getaran tertentu sangat bergantung pada keadaan yang sedang terjadi/dialami. Ketidaknyamanan seseorang dirasakan pada tingkat yang berbeda-beda, misalnya, pada saat duduk di meja kantor, mengoperasikan sebuah mesin, ataupun dalam keadaan menyetir mobil.

Berbagai standar praktik dan banyak publikasi telah mencoba untuk memperoleh kriteria efek vibrasi psikologi yang paling realistis. Pada Gambar 3 menunjukkan spektrum sensitifitas manusia terhadap amplitudo getaran dari berbagai macam frekuensi getaran.

2. METODE PENELITIAN

Analisis umum

Penelitian untuk memperoleh frekuensi dan defleksi dari pelat lantai beton yang diberikan beban mesin dilakukan dengan menganalisis model pelat tipis ortotropik yang memiliki perletakan *semi rigid* di keempat sisinya. Ilustrasi analisis pelat tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Model pelat lantai ortotropik

Persamaan gerak rantai bangunan dapat diturunkan dengan menggunakan keseimbangan gaya yang didasarkan pada hukum Newton II yang dapat dinyatakan sebagai:

$$D_x \frac{\partial^4 w(x,y,t)}{\partial x^4} + 2H \frac{\partial^4 w(x,y,t)}{\partial x^2 \partial y^2} + D_y \frac{\partial^4 w(x,y,t)}{\partial y^4} + \gamma h \frac{\partial w(x,y,t)}{\partial t} + \rho h \frac{\partial^2 w(x,y,t)}{\partial t^2} = p(x,y,t) \quad (1)$$

Dalam persamaan-persamaan diatas, D_x adalah kekakuan lentur pelat di arah x , D_y adalah kekakuan lentur pelat di arah y , H adalah kekakuan torsi, γ adalah faktor redaman, ρ adalah massa jenis pelat. Pelat rantai tersebut diperkaku oleh balok anak selebar b_x dan setinggi h_x . Koordinat yang digunakan adalah sistem kartesius (x, y) dengan titik awal terletak di ujung kiri atas pelat. Defleksi tengah pelat dinyatakan sebagai $w(x, y, t)$ yang merupakan hasil perkalian fungsi posisi dengan fungsi waktu.

Analisis getaran bebas

Untuk masalah *free vibration* atau masalah getaran bebas pelat tanpa redaman ($\gamma=0$), solusi persamaan gerak homogen dapat dinyatakan sebagai perkalian dari fungsi posisi $W(x,y)$ dan fungsi waktu $T(t)$ sebagai berikut:

$$w(x,y,t) = W(x,y) \sin \omega t \quad (2)$$

Dalam persamaan (2) di atas, ω adalah frekuensi alami dan $W(x,y)$ adalah fungsi posisi yang merupakan fungsi dari koordinat $X(x)$ dan $Y(y)$. Bila persamaan (2) disubstitusikan ke dalam persamaan gerak homogen (1), akan diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$D_x \frac{\partial^4 W}{\partial x^4} + 2H \frac{\partial^4 W}{\partial x^2 \partial y^2} + D_y \frac{\partial^4 W}{\partial y^4} - \rho h \omega^2 W = 0 \quad (3)$$

Untuk masalah pelat persegi panjang yang memiliki perletakan sendi pada keempat sisinya, fungsi posisi $W(x,y)$ dapat dinyatakan sebagai:

$$W_{mn} = A_{mn} \sin \left(\frac{m\pi x}{a} \right) \sin \left(\frac{n\pi y}{b} \right) \quad (4)$$

Di mana A_{mn} adalah konstanta yang besarnya dapat diketahui dari syarat awal, m dan n adalah integer positif. Bila persamaan (4) disubstitusikan ke persamaan (3), frekuensi alami sistem dapat dinyatakan sebagai:

$$\omega_{mn}^2 = \frac{\pi^4}{\rho h} \left[D_x \left(\frac{m}{a} \right)^4 + 2H \left(\frac{mn}{ab} \right)^2 + D_y \left(\frac{n}{b} \right)^4 \right] \quad (5)$$

Untuk mendapatkan frekuensi alami sistem pelat persegi panjang dengan perletakan *semi rigid* dapat dicari dengan menganalogikan pelat tersebut sebagai pelat dengan perletakan sendi pada keempat sisinya. Pola getar pada arah x (yaitu m) digantikan dengan p , sedangkan pola getar pada arah y (yaitu n) digantikan dengan q , dimana p dan q merupakan bilangan yang diperoleh dari persamaan transendental. Persamaan transendental tersebut tidak lain adalah nilai determinan dari persamaan *auxiliary Levy*. Berikut merupakan frekuensi alami sistem untuk pelat persegi panjang dengan perletakan *semi rigid* pada keempat sisinya:

$$\omega_{mn}^2 = \frac{1}{\rho h} \left[D_x \left(\frac{p\pi}{a} \right)^4 + 2H \left(\frac{p\pi}{a} \cdot \frac{q\pi}{b} \right)^2 + D_y \left(\frac{q\pi}{b} \right)^4 \right] \quad (6)$$

Kondisi batas untuk pelat persegi panjang dengan perletakan *semi rigid* pada sisi x dan sisi y , syarat batas yang berlaku adalah:

$W(x, y) = 0$, di $x=0$ dan $x=a$

$$W(x, y) = -D_x \left(\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \nu_y \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} \right) = k_1 \frac{\partial W}{\partial x} \quad (7)$$

$W(x, y) = 0$, di $y=0$ dan $y=b$

$$W(x, y) = -D_y \left(\frac{\partial^2 W}{\partial y^2} + \nu_x \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} \right) = k_2 \frac{\partial W}{\partial y} \quad (8)$$

Masalah tipe pelat Levy dapat dipisahkan menjadi dua, yaitu masalah tipe Levy pertama (*auxiliary* pertama) yang memberikan solusi fungsi posisi $X(x)$ di arah x sedangkan arah y dibiarkan mengikuti gerak harmonis, dan masalah tipe Levy kedua (*auxiliary* kedua) yang memberikan solusi fungsi posisi $Y(y)$ di arah y dimana di arah x dibiarkan mengikuti gerak harmonis.

Masalah *auxiliary* pertama

Solusi dari masalah *auxiliary* pertama merupakan sebuah persamaan fungsi posisi sebagai berikut:

$$X(x) = \cosh\left(\frac{\beta\pi}{ab}x\right) + \left(\frac{bpk_1(c_1 - C_1) + a(F_1 + F_2)s_1}{k_1(bpS_1 - \beta s_1)}\right) \sinh\left(\frac{\beta\pi}{ab}x\right) - \cos\left(\frac{p\pi}{a}x\right) - \left(\frac{ab(F_1 + F_2)S_1 + \beta k_1(c_1 - C_1)}{k_1(\beta s_1 - bpS_1)}\right) \sin\left(\frac{p\pi}{a}x\right) \quad (9)$$

di mana:

$$\beta = \sqrt{\frac{2Hq^2a^2}{D_x} + p^2b^2}$$

$$F_1 = (D_x \left(\frac{\beta}{ab}\right)^2 \pi - \nu \cdot D_x \left(\frac{q}{b}\right)^2 \pi) \quad F_2 = (D_x \left(\frac{p}{a}\right)^2 \pi + \nu \cdot D_x \left(\frac{q}{b}\right)^2 \pi)$$

$$C_1 = \cosh\left(\frac{\pi\beta}{b}\right) \quad c_1 = \cos(p\pi)$$

$$S_1 = \sinh\left(\frac{\pi\beta}{b}\right) \quad s_1 = \sin(p\pi) \quad (10)$$

Masalah *auxiliary* kedua

Solusi dari masalah *auxiliary* kedua merupakan sebuah persamaan fungsi posisi sebagai berikut:

$$Y(y) = \cosh\left(\frac{\theta\pi}{ab}y\right) + \left(\frac{aqk_2(c_2 - C_2) + b(F_3 + F_4)s_2}{k_2(aqS_2 - \theta s_2)}\right) \sinh\left(\frac{\theta\pi}{ab}y\right) - \cos\left(\frac{q\pi}{b}y\right) - \left(\frac{ab(F_3 + F_4)S_2 + \theta k_2(c_2 - C_2)}{k_2(\theta s_2 - aqS_2)}\right) \sin\left(\frac{q\pi}{b}y\right) \quad (11)$$

di mana:

$$\theta = \sqrt{\frac{2Hp^2b^2}{D_y} + q^2a^2}$$

$$F_3 = (D_y \left(\frac{\theta}{ab}\right)^2 \pi - \nu \cdot D_y \left(\frac{p}{a}\right)^2 \pi) \quad F_4 = (D_y \left(\frac{q}{b}\right)^2 \pi + \nu \cdot D_y \left(\frac{p}{a}\right)^2 \pi)$$

$$\begin{aligned}
 C_2 &= \cosh\left(\frac{\pi\theta}{a}\right) & c_2 &= \cos(q\pi) \\
 S_2 &= \sinh\left(\frac{\pi\theta}{a}\right) & s_2 &= \sin(q\pi)
 \end{aligned}
 \tag{12}$$

Solusi homogen

Bentuk homogen dari persamaan gerak umum sistem pelat ortotropik dapat diselesaikan dengan menggunakan metode pemisahan variabel (*separation of variables method*). Akan diperoleh dua buah persamaan diferensial yaitu persamaan diferensial *spatial* $W(x,y)$ yang merupakan fungsi posisi dan persamaan diferensial *temporal* $T(t)$ yang merupakan fungsi waktu t . Solusi homogen tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\mathbf{w}(x,y,t) = \mathbf{W}(x,y) \cdot \mathbf{T}(t) = \mathbf{X}(x) \cdot \mathbf{Y}(y) \cdot \mathbf{T}(t)
 \tag{13}$$

di mana:

$X(x)$ = fungsi posisi di arah x

$Y(y)$ = fungsi posisi di arah y

Prosedur yang ditempuh adalah mencari solusi dalam bentuk terpisah sehingga superposisi dari bentuk terpisah tersebut menghasilkan sebuah solusi yang memenuhi kondisi batas. Berdasarkan metode tersebut, solusi homogen dari persamaan (1) dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{w}(x,y,t) &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \mathbf{W}_{mn}(x,y) \mathbf{T}_{mn}(t) \\
 &= \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \mathbf{X}(x) \cdot \mathbf{Y}(y) \cdot e^{-\xi \omega_{mn} t} \left(a_0 \cos\left(\sqrt{1-\xi^2} \omega_{mn} t\right) + b_0 \sin\left(\sqrt{1-\xi^2} \omega_{mn} t\right) \right)
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

Solusi partikuler

Solusi total dari persamaan fungsi waktu dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\mathbf{T}_{mn}(t) = \bar{\mathbf{T}}_{mn}(t) + \hat{\mathbf{T}}_{mn}(t)
 \tag{15}$$

dimana $\bar{\mathbf{T}}_{mn}(t)$ adalah solusi homogen fungsi waktu dan $\hat{\mathbf{T}}_{mn}(t)$ adalah solusi partikuler fungsi waktu yang dapat dinyatakan dalam bentuk integral konvolusi Duhamel sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \hat{\mathbf{T}}_{mn}(t) &= \\
 &\int_0^t \left(\frac{\mathbf{p}(x,y,\tau)}{\rho h Q_{mn}} \int_0^a \mathbf{X}_{mn}(x) dx \int_0^b \mathbf{Y}_{mn}(y) dy \frac{e^{-\xi \omega_{mn}(1-\tau)}}{\sqrt{1-\xi^2} \omega_{mn}} \sin\left(\sqrt{1-\xi^2} \omega_{mn}(t-\tau)\right) \right) d\tau
 \end{aligned}
 \tag{16}$$

Solusi homogen mengandung konstanta-konstanta yang harus ditetapkan berdasarkan kondisi awal, yang menunjukkan suatu keadaan vibrasi transien. Sifat dari respons pelat yang dipaksakan yang bersifat vibrasi terus-menerus (*steady*), hanya mengandung fungsi-fungsi $\mathbf{T}_{mn}(t)$ yang ditentukan oleh persamaan (16). Dengan mengisikan persamaan-persamaan koefisien ke dalam persamaan (16), solusi umum untuk lendutan respons yang dipaksakan dari pelat akibat suatu beban dinamik umum $p(x,y,t)$ ditentukan dalam bentuk integral sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 w(x, y, t) = & \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} X_{mn}(x) \cdot Y_{mn}(y) \cdot e^{-\xi \omega_{mn} t} \left(a_{mn} \cos(\sqrt{1 - \xi^2} \omega_{mn} t) + b_{mn} \sin(\sqrt{1 - \xi^2} \omega_{mn} t) \right) \\
 & + \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} (X_{mn}(x) \cdot Y_{mn}(y)) \cdot \frac{\int_0^a X_{mn}(x) \int_0^b Y_{mn}(y)}{\rho h Q_{mn} \sqrt{1 - \xi^2} \omega_{mn}} \cdot \\
 & \int_0^t \left(p(x, y, \tau) e^{-\xi \omega_{mn} (1-\tau)} \sin(\sqrt{1 - \xi^2} \omega_{mn} (t - \tau)) \right) d\tau
 \end{aligned}
 \tag{17}$$

Fungsi beban mesin yang bekerja pada posisi tertentu dapat dinyatakan dengan fungsi Dirac's Delta sebagai berikut:

$$\mathbf{p}(x, y, t) = \mathbf{p}[x(t), y(t), t] = \mathbf{p}(t) \delta[x - x(t)] \delta[y - y(t)]
 \tag{18}$$

di mana:

- $p(t)$ = fungsi waktu beban mesin
- $x(t)$ = fungsi gerak beban di arah x sebagai fungsi t
- $y(t)$ = fungsi gerak beban di arah y sebagai fungsi t
- $\delta[.]$ = *Dirac's Delta fuction*

Sedangkan fungsi waktu beban mesin yang bergetar dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\mathbf{p}(t) = \mathbf{P0} \cdot \mathbf{cos}\omega t
 \tag{19}$$

di mana:

- $P0$ = berat mesin genset dalam satuan Newton
- ω = frekuensi getaran mesin genset dalam satuan rad/s

Maka persamaan fungsi beban mesin secara keseluruhan dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\mathbf{p}(x, y, t) = \mathbf{p}[x(t), y(t), t] = \mathbf{P0} \cdot \mathbf{cos}\omega t \cdot \delta[x - x(t)] \cdot \delta[y - y(t)]
 \tag{20}$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Studi kasus

Suatu pelat lantai bangunan yang terbuat dari beton digunakan sebagai tempat untuk meletakkan mesin genset. Lantai bangunan dimodelkan sebagai pelat persegi panjang ortotropik, beton diasumsikan sebagai material yang berifat ortotropik dan elastik linier. Pada penelitian ini dilakukan analisis untuk memperoleh defleksi dinamik maksimum yang disebabkan beban getaran mesin genset dengan frekuensi tertentu yang akan mempengaruhi kenyamanan pelat tersebut.

Model 1 merupakan sebuah pelat lantai dengan ketebalan 12cm yang diberikan beban genset bergetar dan diharapkan didapatkan pelat lantai dengan tingkat ketidaknyaman yang tidak baik. Model 2 merupakan sebuah pelat lantai dengan ketebalan yang sudah ditambahkan menjadi 20cm dan diberikan beban genset bergetar, diharapkan memberikan tingkat kenyamanan yang lebih baik jika dibandingkan dengan model 1. Model 3 merupakan sebuah pelat lantai dengan

ketebalan 12cm dan diberikan tambahan balok anak yang searah dengan arah y, diharapkan memberikan tingkat kenyamanan yang lebih baik jika dibandingkan dengan model 1.

Balok anak dari model 3 dibuat sedemikian rupa sehingga didapatkan total penggunaan volume beton tambahan yang sama dengan model 2. Tingkat kenyamanan dari model 2 dan model 3 kemudian dibandingkan. Dari hasil analisis tersebut dapat disimpulkan, diantara model 2 dan model 3, model mana yang memiliki tingkat kenyamanan yang lebih baik. Seluruh beban mesin genset diletakan ditengah bentang x dan y. Rasio redaman dari seluruh pemodelan diambil sebesar 5%.

Ukuran dan sifat bahan pelat

Ukuran dan sifat bahan pelat yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Ukuran dan sifat bahan pelat

Data	Nilai			Satuan	
	Model 1	Model 2	Model 3		
a	Panjang Pelat	4	4	4	m
b	Lebar Pelat	3	3	3	m
h	Tebal Pelat	0.12	0.20	0.12 + balok anak	m
ρ	Massa Jenis Beton	2400	2400	2400	kg/m ³
γ		5	5	5	%
D_x	Kekakuan Lentur Pelat arah x	3.05x10 ⁶	1.41x10 ⁷	1.41x10 ⁷	Nm
D_y	Kekakuan Lentur Pelat arah y	3.13x10 ⁶	1.49x10 ⁷	3.69x10 ⁷	Nm
k_1	Kekakuan Rotasi Tumpuan arah x	1.9x10 ⁶	1.9x10 ⁶	1.9x10 ⁶	Nm/rad/m
k_2	Kekakuan Rotasi Tumpuan arah y	1.5x10 ⁶	1.5x10 ⁶	1.5x10 ⁶	Nm/rad/m

Untuk mendapatkan kekakuan lentur pelat arah y (D_y) pada model 3, digunakan rumus sebagai berikut:

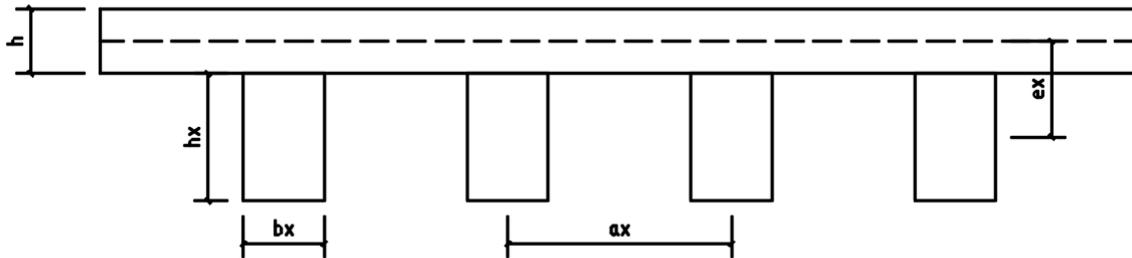
$$D_x = \frac{E_x h^3}{12} + \frac{E_x b_x}{6a_x} \left(\left(h_x - \left(e_x - \frac{h}{2} \right) \right)^2 (2h_x + e_x + h) - \left(e_x - \frac{h}{2} \right)^2 (e_x + h) \right) \quad (21)$$

Parameter-parameter baru a_x , b_x , h_x , dan e_x dapat dilihat pada Gambar 2. Agar volume beton tambahan yang digunakan sama dengan model 2, digunakan data-data sebagai berikut:

- Jumlah balok anak = 9 buah
- Tebal pelat (h) = 120 mm
- a_x = 415 mm
- b_x = 150 mm
- h_x = 237.0370 mm
- e_x = 178.5185 mm

Hasil analisis

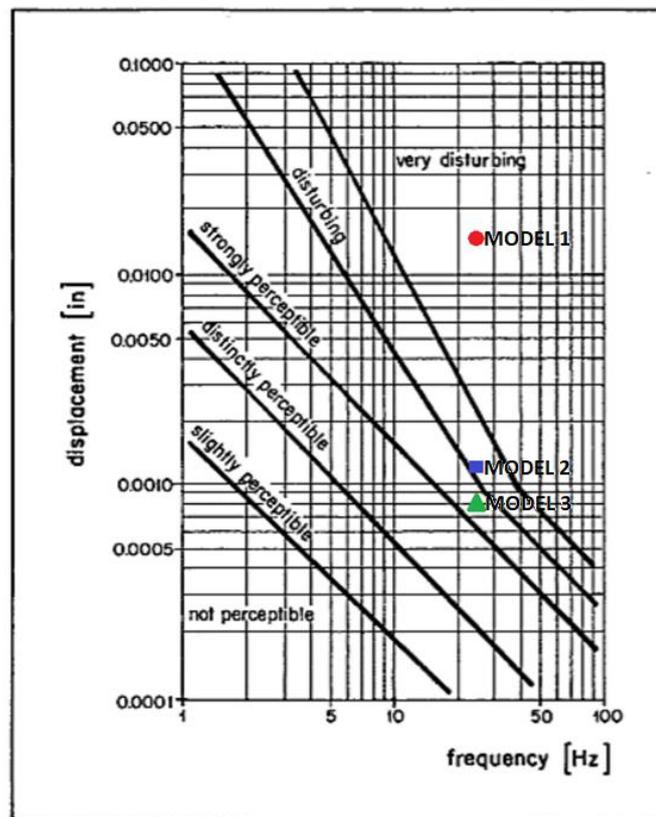
Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan pada 3 buah pemodelan, didapatkan beragam nilai defleksi absolut maksimum. Defleksi yang ditinjau adalah defleksi absolut maksimum di tengah bentang tempat dimana beban diletakan. Hasil pemodelan-pemodelan tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 2. Parameter-parameter baru pada model 3

Tabel 2. Defleksi absolut maksimum

Macam-macam Pemodelan	Defleksi Maksimum (m)	Defleksi Maksimum (inch)
Pelat 12 cm	0.0004167340	0.01640690
Pelat 20 cm	0.0000307361	0.00121008
Pelat 12 cm + Balok Anak	0.0000208758	0.00082188



Gambar 3. Tingkat Kenyamanan Berdasarkan Amplitudo Defleksi dan Frekuensi
Sumber Gambar: Bachmann et al, 1987

Defleksi maksimum yang diperoleh dari hasil analisis ketiga model tersebut kemudian di plot ke dalam grafik kriteria kenyamanan pelat. Frekuensi beban mesin genset adalah sebesar 25 Hz. Frekuensi tersebut beserta defleksi maksimum dari tiap pemodelan kemudian diplot ke dalam grafik tersebut. Model 1 ditandai dengan warna merah, model 2 ditandai dengan warna biru, dan model 3 ditandai dengan warna hijau. Plot tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.

Dari hasil plot tersebut didapatkan bahwa pelat dengan ketebalan 12 cm memiliki tingkat kenyamanan terburuk di level sangat mengganggu, pelat dengan ketebalan 20 cm memiliki tingkat kenyamanan yang lebih baik namun masih di level mengganggu. Sedangkan pelat dengan ketebalan 12 cm dengan tambahan balok anak memiliki tingkat kenyamanan paling baik di level getaran sangat jelas. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa penambahan balok anak lebih efisien dibandingkan menambah ketebalan pelat.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis struktur pelat lantai ortotropik dengan perletakan semirigid dan diberikan beban mesin bergetar, dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. Model yang diberikan balok anak (Model 3) memiliki tingkat kenyamanan yang lebih baik dibandingkan dengan model yang ditambahkan ketebalannya (Model 2), sehingga dapat disimpulkan penambahan balok anak lebih efisien bila ingin dicapai tingkat kenyamanan tertentu.
2. Tingkat kenyamanan pelat dapat dinyatakan dari dua buah parameter utama, yaitu defleksi absolut maksimum dan frekuensi getaran.

Saran

Untuk dapat menyempurnakan dan melengkapi studi kasus tentang kenyamanan pelat lantai ortotropik akibat getaran beban mesin, perlu dilakukan studi lanjut dan penyempurnaan sebagai berikut:

1. Selain memperhitungkan volume penambahan beton, perhitungan detail penulangan (volume baja tulangan), bekisting, waktu yang dibutuhkan dalam konstruksi, tingkat kesulitan konstruksi, pembesaran balok induk akibat penambahan *dead load* dapat menjadi parameter-parameter yang menentukan dalam menentukan metode perkuatan yang lebih efisien dan ekonomis.
2. Dapat dilakukan studi lebih lanjut dalam menentukan parameter *damping ratio* agar hasil yang didapatkan lebih realistis. Dalam hal ini digunakan *damping ratio* sebesar 5%.

Ucapan Terima Kasih (*Acknowledgement*)

Saya mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas bimbingan dan dorongan dari Ibu Sofia S. Wangsadinata dalam penulisan penelitian ini.

REFERENSI

- Alisjahbana, S.W., (2002). *Dinamika Struktur Pelat*. Fakultas Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, ISBN: 979-95879-4-8.
- Alisjahbana, S.W., (September 2011). *Dinamika Struktur Pelat II*. UB Press, ISBN 978-95879-4-8.
- Bachmann, H., Ammann, W.J., (1987). *Vibrations in Structure, Induced by Man and Machines*. Internatinal Association for Bridge and Structural Engineering, Zurich.