Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran, dan Ilmu Kesehatan
Vol. 4, No. 1, April 2020: hlm 115-130

ISSN 2579-6402 (Versi Cetak)
ISSN-L 2579-6410 (Versi Elektronik)

PERILAKU DINAMIK PELAT PERKERASAN KAKU AKIBAT BEBAN BERGERAK DENGAN KECEPATAN TIDAK KONSTAN

Ridwan Halim[1], Sofia W. Alisjahbana[2]

[1]Program Magister Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara Jakarta

Email: ridwanhalim_01@yahoo.co.id

[2]Universitas Bakrie Jakarta

Email: sofia.wangsadinata@gmail.com

Masuk: 08-08-2018, revisi: 09-10-2019, diterima untuk diterbitkan: 08-05-2020

ABSTRAK

Struktur perkerasaan kaku banyak dijumpai pada bangunan industrial khususnya pada struktur jalan. Sebagian besar kendaraan yang melintas pada jalan ini adalah kendaraan berat seperti truk dengan beban berat. Jadi, insinyur harus mendesain dengan tepat sehingga struktur ini dapat memenuhi syarat kekuatan maupun lendutan. Analisis dinamik perkerasan kaku dalam tesis ini dimodelkan sebagai pelat beton dengan kondisi batas semua tepi pelat memiliki tumpuan semi rigid dan di atas media tanah dengan model pondasi Pasternak yang memiliki dukungan pegas vertikal elastis dan lapisan geser menerus di bawahnya. Beban transversal yang melintasi permukaan pelat berupa beban dinamik yang memiliki kecepatan awal serta percepatan tetap. Beban dimodelkan sebagai beban terpusat sumbu tunggal ekuivalen dengan variasi jenis kendaraan seperti: *Colt Diesel Double (CDD) Los Bak, Colt Diesel Double (CDD)* Long Box, dan *Colt Diesel Double (CDD)* Bak. Dalam penelitian ini juga akan dilakukan analisis berbagai jenis parameter antara lain nilai koefisien kendaraan, nilai ratio redaman (damping ratio), dan berbagai kondisi tanah pendukung yaitu tanah lunak, tanah sedang, dan tanah keras. Penyelesaian masalah dinamika pelat dengan kondisi semi rigid menggunakan *Modified Bolotin Method (MBM)* dengan bantuan dua persamaan transendental. Pemecahan fungsi beban dinamik ini menggunakan bantuan sifat-sifat khusus fungsi Dirac-delta. Analisis dilakukan ketika beban berada di atas pelat ($0 \leq t \leq t_0$) dengan hasil akhir yang didapat adalah respon spektrum atau kecepetan kritis kendaraan serta gaya-gaya dalam berupa momen dan gaya geser.

Kata Kunci: MBM (*Modified Bolotin Method*); respons dinamik; beban transversal; Pastenak; Dirac-delta

ABSTRACT

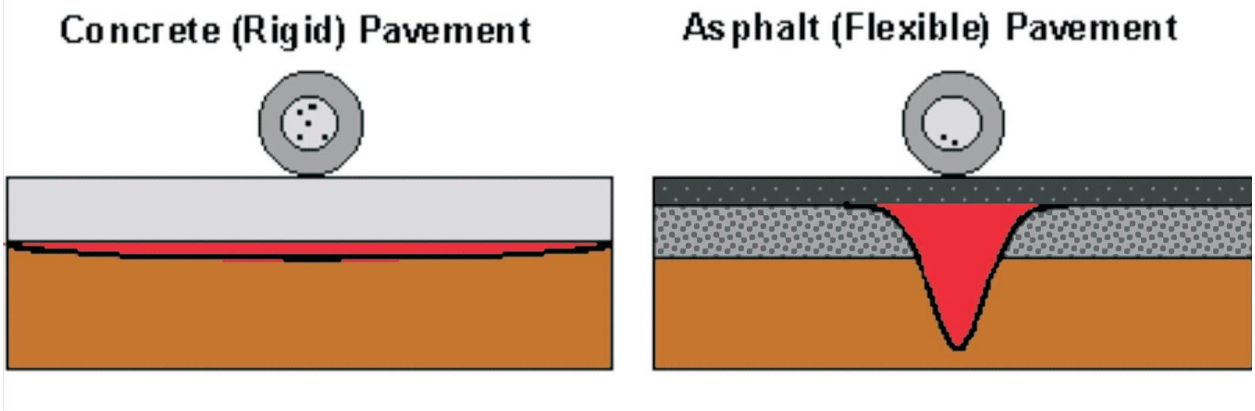
Structural hard structures are often found in industrial buildings, especially in road structures. Most of the vehicles that pass on this road are heavy vehicles such as trucks with heavy loads. So, the engineer must design precisely so that this structure can meet the requirements of strength and deflection. The dynamic analysis of rigid pavement in this thesis is modeled as a concrete slab with boundary conditions all the edges of the slab have a semi rigid footing and on top of the soil media with a Pasternak foundation model that has elastic vertical spring support and a continuous sliding layer underneath. Transverse load that crosses the surface of the plate in the form of a dynamic load that has a initial speed and fixed acceleration. The load is modeled as a single axis centered load equivalent to variations in vehicle types such as: Colt Diesel Double (CDD) Los Bak, Colt Diesel Double (CDD) Long Box, and Colt Diesel Double (CDD) Body. In this study, various types of parameters will be analyzed, including the coefficient of the vehicle, the value of the damping ratio (damping ratio), and various supporting soil conditions, namely soft soil, medium soil and hard soil. Solving the plate dynamics problem with semi-rigid conditions using the Modified Bolotin Method (MBM) with the help of two transcendental equations. This dynamic load function solving uses the special properties of the Dirac-delta function. Analysis is carried out when the load is on the plate ($0 \leq t \leq t0$) with the final result obtained is the spectrum response or critical speed of the vehicle and the forces in the form of moments and shear forces.

Keywords: *MBM (Modified Bolotin Method); dynamic response; transverse load; Pastenak; Dirac-delta*

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Struktur pelat yang sering digunakan pada jalan adalah struktur perkerasan kaku (lapis beton) dan struktur perkerasan lentur (lapis aspal) seperti yang terlampir pada Gambar 1. Perkerasan kaku dinilai memberikan beberapa kelebihan dibandingkan dengan jalan yang menggunakan perkerasan lentur karena dapat digunakan pada kondisi tanah dasar yang mempunyai daya dukung rendah maupun tidak seragam serta perkerasan kaku mampu menahan beban yang berat dan menyebarkan gaya yang terjadi secara efisien menuju tanah dasar.



Gambar 1 Perkerasan Kaku dan Perkerasan Lentur
http://azanurfauzi.blogspot.com/2010/06/rigid-pavement.html

Suatu persoalan yang banyak dihadapi pada pelat perkerasan jalan raya adalah beban yang bekerja pada pelat perkerasan bersifat dinamik, maka perlu dilakukan kajian lebih dalam mengenai perilaku dinamik pelat perkerasaan akibat beban bergerak secara tidak konstan. Ada banyak faktor yang mempengaruhi respons dinamik yang dihasilkan, antara lain: tebal, ukuran pelat, beban kendaraan yang melintas, kecepatan kendaraan, asumsi perletakan pada keempat sisi pelat, dan lain sebagainya. Hal-hal tersebut yang akan memberikan perilaku dinamik berbeda pada setiap pelat perkerasan.

Pada tahun 1964, Kerr telah memperkenalkan model pondasi elastis yang paling sederhana (model pondasi Winkler). Lapisan tanah pendukung dimodelkan sebagai lapisan pegas pendukung yang tersebar merata di sepanjang pelat. Tetapi model ini hanya berlaku untuk beban yang seragam dikarenakan tidak diperhitungkan adanya koneksi antar lapisan tanah sehingga menghasilkan bentuk deformasi yang seragam di sepanjang pelat (Alisjahbana dan Wangsadinata, 2012).

Salah satu pemodelan pondasi yang menghasilkan nilai yang cukup baik dan mendekati keadaan sebenarnya diusulkan oleh Pasternak atau dikenal dengan model pondasi Pasternak. Pasternak memodelkan lapisan tanah pendukung menjadi 2 lapisan yaitu lapisan geser dan lapisan pegas di bawah pelat. Beberapa penelitian telah dilakukan berdasarkan pemodelan pondasi ini, antara lain analisis perkerasaan kaku yang diletakan pada lapisan tanah pendukung menggunakan model pondasi Pasternak dan dibebani dengan beban berjalan.

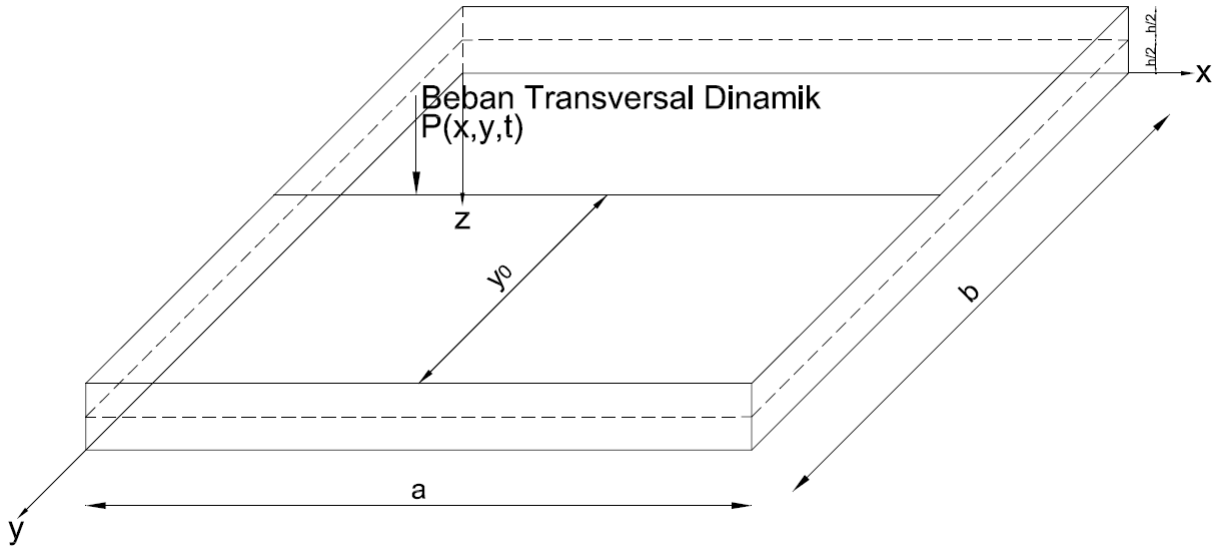
Beberapa metode dapat digunakan dalam penyelesaian respons dinamik, seperti metode beda hingga, metode elemen hingga, metode Rayleigh-Ritz, dan Modified Bolotin Method (MBM). Alisjahbana dan Wangsadinata (2006) melakukan penelitian mengenai pelat persegi panjang orthotropik di atas pondasi Pasternak dan dibebani beban transversal dinamik yang bergerak

https://doi.org/10.24912/jmstkik.v4i1.2287

ISSN 2579-6402 (Versi Cetak)
ISSN-L 2579-6410 (Versi Elektronik)

dengan kecepatan konstan dengan perletakan yang tidak simetris pada seluruh sisi pelat, sehingga solusi persamaan diferensial homogen sistem tersebut perlu diselesaikan dengan *Modified Bolotin Method.* Metode ini adalah metode numerik untuk menyelesaikan berbagai persamaan pelat melalui fungsi trigonometri. Metode ini unggul karena dapat menghasilkan solusi untuk berbagai jenis perletakan dan menghasilkan solusi yang akurat pada ragam getar yang tinggi. Untuk masalah pelat dengan perletakan *semi rigid*, *wave number* dinyatakan sebagai $p\pi/a$ dan $q\pi/b$, dengan p dan q adalah bilangan riil yang dapat diketahui melalui dua masalah auxiliary.

Dalam penelitian ini akan dibahas penyelesaian respons dinamik pelat ortotropik yang dibebani dengan beban transversal berjalan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2 Ilustrasi Pelat dengan Beban Transversal Dinamik

Mengingat kompleksitas elemen-elemen pelat yang diteliti, pada penelitian terdahulu pelat disederhanakan dengan bebergai pendekatan seperti memisalkan kondisi perletakan yang ada pada pondasi kaku sempurna atau kondisi elastis. Sementara pada realitanya, kondisi pelat tidak sepenuhnya kaku maupun tidak sepenuhnya elastis. Kondisi tersebut sering dikenal dengan kondisi *semi rigid*.

Sampai saat ini, telah banyak dilakukan penelitian menggunakan MBM (*Modified Bolotin Method*) untuk meneliti perilaku dinamik dimana tanah dimodelkan dengan menggunakan pemodelan yang diusulkan oleh Pasternak. Pada tahun 2012, Alisjahbana, S.W. Dan W. Wangsadinata meneliti mengenai respons dinamik perkerasan kaku yang dibebani beban lalu lintas dengan kecepatan bervariasi menggunakan MBM dan pemodelan pondasi Pasternak. dan mempresentasikan mengenai respons dinamik perkerasan kaku di atas pondasi Pasternak dengan beban transversal berjalan di atas perkerasan kaku.

2. METODE PENELITIAN

Analisis Umum

Persamaan gerak sebuah pelat orthotropik yang dibebani oleh beban dinamik dan ditumpu oleh pondasi elastis Pasternak dapat dinyatakan dengan Persamaan (3).

$$D_x\left(\frac{\partial^4 w\,(x,y,t)}{\partial x^4}\right) + 2B\left(\frac{\partial^4 w\,(x,y,t)}{\partial x^2\,\partial y^2}\right) + D_y\left(\frac{\partial^4 w\,(x,y,t)}{\partial y^4}\right) + \gamma h\frac{\partial w\,(x,y,t)}{\partial t} + \rho h\left(\frac{\partial^2 w\,(x,y,t)}{\partial t^2}\right) - k_f w - G_s\left[\frac{\partial^2 w\,(x,y,t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w\,(x,y,t)}{\partial y^2}\right] = p\,(x,y,t) \quad (1)$$

Dalam persamaan-persamaan diatas, Dx adalah kekakuan lentur pelat di arah x, Dy adalah kekakuan lentur pelat di arah y, B adalah kekakuan torsi, γ adalah koefisien redaman, ρ adalah massa jenis pelat. Defleksi tengah pelat dinyatakan sebagai w(x, y, t) yang merupakan hasil perkalian fungsi posisi dengan fungsi waktu.

Penyelesaian frekuensi alami secara eksak untuk masalah pelat dengan perletakan sendi pada ke empat sisinya dapat diselesaikan dengan menggunakan solusi Navier dan solusi Levy. Sedangkan pelat dengan perletakan jepit, perletakan *semi rigid* maupun perletakan bebas dapat diselesaikan dengan solusi numerik, yaitu metode Bolotin. Metode Bolotin kemudian dimodifikasi sehingga dapat memberikan hasil yang akurat serta dapat menyelesaikan masalah dinamik pelat persegi panjang lebih baik dan teliti pada ragam-ragam getar yang tinggi, metode ini dikenal dengan *Modified Bolotin Method*.

Model yang representatif untuk menggambarkan pelat lantai bangunan adalah sebuah pelat orthotropik persegi panjang dengan perletakan *semi rigid* pada ke empat sisinya. Defleksi dinamik pelat orthotropik diperoleh dengan mengasumsikan bahwa solusi persamaan gerak homogen dapat dinyatakan sebagai perkalian dari fungsi posisi *W(x,y)* dan fungsi waktu *T(t)*. Untuk masalah *free vibration* atau masalah getaran bebas pelat tanpa redaman (γ=0), defleksi transversal pelat dapat dinyatakan sebagai berikut:

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

Keterangan:

W(x,y) = fungsi posisi atau *spatial function*

ω = frekuensi alami sistem

Bila Persamaan (2) disubstitusikan ke dalam Persamaan (1) akan dihasilkan persamaan sebagai berikut :

$$D_x\left(\frac{\partial^4 w}{\partial x^4}\right) + 2B\left(\frac{\partial^4 w}{\partial x^2\,\partial y^2}\right) + D_y\left(\frac{\partial^4 w}{\partial y^4}\right) + \rho h\left(\frac{\partial^2 w}{\partial t^2}\right) + k_f w - G_s\left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2}\right] = 0 \quad (3)$$

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

https://doi.org/10.24912/jmstkik.v4i1.2287

ISSN 2579-6402 (Versi Cetak)
ISSN-L 2579-6410 (Versi Elektronik)

$$-D_x\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}+\nu_y\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}\right)=k_1\frac{\partial w}{\partial x} \quad \text{dan} \quad w(x,y)=0 \quad \text{di } x=0 \tag{4}$$

$$-D_x\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}+\nu_y\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}\right)=k_1\frac{\partial w}{\partial x} \quad \text{dan} \quad w(x,y)=0 \quad \text{di } x=a \tag{5}$$

$$-D_y\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}+\nu_x\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}\right)=k_2\frac{\partial w}{\partial y} \quad \text{dan} \quad w(x,y)=0 \quad \text{di } y=0 \tag{6}$$

$$-D_y\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}+\nu_x\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}\right)=k_2\frac{\partial w}{\partial y} \quad \text{dan} \quad w(x,y)=0 \quad \text{di } y=b \tag{7}$$

Dengan mengasumsikan bahwa kondisi tepi pelat adalah sendi di mana lendutan dan momen yang terjadi di tepi pelat adalah nol, maka solusi total sistem dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$W_{mn}=A_{mn}\sin\left(\frac{m\pi x}{a}\right)\sin\left(\frac{n\pi y}{b}\right) \tag{8}$$

Keterangan:

A_{mn} = Konstanta koefisien amplitudo yang besarnya diketahui dari syarat awal
$\left(\frac{m\pi x}{a}\right)$ = *Wave number* di arah sumbu x
$\left(\frac{m\pi x}{a}\right)$ = *Wave number* di arah sumbu y
m = Integer positif, pola getar yang terjadi (*mode*) di arah x
n = Integer positif, pola getar yang terjadi (*mode*) di arah y
a = Panjang pelat di arah sumbu x
b = Panjang pelat di arah sumbu y

Bila Persamaan (8) disubstitusikan ke dalam Persamaan (3), frekuensi alami sistem untuk pelat yang memiliki perletakan sendi pada keempat sisinya akan diperoleh. Adapun frekuensi alami tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$(\omega_{mn})^2=\frac{1}{\rho h}\left[D_x\left(\frac{m\pi}{a}\right)^4+2B\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2\left(\frac{n\pi}{b}\right)^2+k_f+D_y\left(\frac{n\pi}{b}\right)^4+G_s\left[\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2+\left(\frac{n\pi}{b}\right)^2\right]\right] \tag{9}$$

Frekuensi alami sistem untuk pelat persegi panjang yang memiliki perletakan bukan sendi dapat dicari dengan menganalogikan pelat persegi panjang tersebut sebagai pelat dengan perletakan sendi pada keempat sisinya. Pola getar di arah x (*m*) diganti dengan *p*, dan pola getar di arah y (*n*) diganti dengan *q*. Dalam hal ini, nilai *p* dan *q* merupakan bilangan riil yang diperoleh dari penyelesaian masalah-masalah *auxiliary*. Frekuensi alami sistem untuk pelat persegi panjang dengan perletakan *semi rigid* pada keempat sisinya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$(\omega_{pq})^2=\frac{1}{\rho h}\left[D_x\left(\frac{p\pi}{a}\right)^4+2B\left(\frac{p\pi}{a}\right)^2\left(\frac{q\pi}{b}\right)^2+k_f+D_y\left(\frac{q\pi}{b}\right)^4+G_s\left[\left(\frac{p\pi}{a}\right)^2+\left(\frac{q\pi}{b}\right)^2\right]\right] \tag{10}$$

di mana :

A_{mn} = Konstanta koefisien amplitudo yang besarnya diketahui dari syarat awal
$\left(\frac{p\pi}{a}\right)$ = *Wave number* di arah sumbu x
$\left(\frac{q\pi}{b}\right)$ = *Wave number* di arah sumbu y
p, q = Bilangan riil (untuk perletakan bukan sendi di kedua sisi yang berhadapan) yang dapat diselesaikan dengan masalah tipe Levy dari dua buah persamaan *auxiliary*
a = Panjang pelat di arah sumbu x
b = Panjang pelat di arah sumbu y

Nilai *p* dan *q* diperoleh dengan *Modified Bolotin Method* dari dua buah persamaan transendental. Kedua persamaan ini merupakan determinan dari dua buah matriks yang berisikan syarat-syarat batas dari kedua sisi-sisi tepi pelat yang saling berhadapan yang dapat diselesaikan dengan masalah tipe Levy dari dua buah persamaan *auxiliary*.

Persamaan *Auxiliary* Pertama

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

$$X(x) = \cosh\left(\frac{\pi\beta x}{ab}\right) + \frac{b(c_1k_1p - C_1k_1p + a(F_1 + F_2)s_1)}{k_1(bpS_1 - s_1\beta)}\sinh\left(\frac{\pi\beta x}{ab}\right) - \cos\left(\frac{\pi p x}{a}\right) - \frac{ab(F_1 + F_2)S_1 + (c_1 - C_1)k_1\beta}{k_1(bpS_1 - s_1\beta)}\sin\left(\frac{\pi p x}{a}\right) \quad (11)$$

di mana :

$$\beta = \sqrt{(bp)^2 + \frac{G_s(ab)^2}{\pi^2 D_x} + \frac{2B(aq)^2}{D_x}}$$

$$F_1 = D_x\pi\left(\frac{\beta}{ab}\right)^2 - \nu_y D_x\pi\left(\frac{q}{b}\right)^2$$

$$F_2 = D_x\pi\left(\frac{p}{a}\right)^2 + \nu_y D_x\pi\left(\frac{q}{a}\right)^2$$

$$C_1 = \cosh\left(\frac{\pi\beta}{b}\right)$$

$$c_1 = \cos(p\pi)$$

$$S_1 = \sinh\left(\frac{\pi\beta}{b}\right)$$

$$s_1 = \sin(p\pi) \quad (12)$$

Persamaan *Auxiliary* Kedua

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

$$Y(y) = \cosh\left(\frac{\pi\theta y}{ab}\right) + \frac{a(c_2k_2q - C_2k_2q + b(F_3 + F_4)s_2)}{k_2(aqS_2 - s_2\theta)}\sinh\left(\frac{\pi\theta y}{ab}\right) - \cos\left(\frac{\pi q y}{b}\right) - \frac{ab(F_3 + F_4)S_2 + (c_2 - C_2)k_2\theta}{k_2(aqS_2 - s_2\theta)}\sin\left(\frac{\pi q y}{b}\right) \quad (13)$$

$$\theta = \sqrt{(qa)^2 + \frac{G_s(ab)^2}{\pi^2 D_y} + \frac{2B(pb)^2}{D_y}}$$

$$F_3 = D_y\pi\left(\frac{\theta}{ab}\right)^2 - \nu_x D_y\pi\left(\frac{p}{a}\right)^2$$

$$F_4 = D_y\pi\left(\frac{q}{b}\right)^2 + \nu_x D_y\pi\left(\frac{p}{a}\right)^2$$

$$C_2 = \cosh\left(\frac{\pi\theta}{a}\right)$$

$$c_2 = \cos(q\pi)$$

$$S_2 = \sinh\left(\frac{\pi\theta}{a}\right)$$

$$s_2 = \sin(q\pi) \quad (14)$$

https://doi.org/10.24912/jmstkik.v4i1.2287

ISSN 2579-6402 (Versi Cetak)
ISSN-L 2579-6410 (Versi Elektronik)

Solusi Homogen

Solusi homogen, *wH*, dari persamaan gerak sesuai Persamaan (1) dapat diperoleh dari persamaan diferensial yang dapat dinyatakan sebagai:

$$D_x\left(\frac{\partial^4 w(x,y,t)}{\partial x^4}\right) + 2B\left(\frac{\partial^4 w(x,y,t)}{\partial x^2 \partial y^2}\right) + D_y\left(\frac{\partial^4 w(x,y,t)}{\partial y^4}\right) + \gamma h\frac{\partial w(x,y,t)}{\partial t} + \rho h\left(\frac{\partial^2 w(x,y,t)}{\partial t^2}\right) + k_f w - G_s\left[\frac{\partial^2 w(x,y,t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w(x,y,t)}{\partial y^2}\right] = 0 \quad (15)$$

Persamaan (15) dapat diselesaikan dengan menggunakan metode pemisahan variabel (*separation of variables method*), sehingga diperoleh bentuk yang mudah diselesaikan berupa dua buah persamaan yang terpisah yaitu persamaan diferensial *spatial* W(x,y) yang merupakan fungsi posisi x dan y saja dan persamaan diferensial *temporal* T(t) yang merupakan fungsi waktu t. Dengan demikian solusi homogen dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$w(x,y,t) = W(x,y,t)T(t) = X(x)Y(y)T(t) = XYT \quad (16)$$

Keterangan:

W(x,y) = Fungsi posisi (*spatial function*)

X(x) = Fungsi posisi di arah x

Y(y) = Fungsi posisi di arah y

T(t) = Fungsi waktu (*temporal function*)

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 (16) dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$w_H = w(x,y,t) = \sum_{p=1}^{\infty}\sum_{q=1}^{\infty} W_{pq}(x,y)T_{pq}(t)$$

$$w_H = w(x,y,t) = \sum_{p=1}^{\infty}\sum_{q=1}^{\infty}\left[X_{pq}(x)Y_{pq}(y)\right]e^{-\xi\omega_{pq}t}\left(a_{0[pq]}\cos[\omega_D]t + b_{0[pq]}\sin[\omega_D]t\right) \quad (17)$$

Solusi Partikuler

Solusi partikuler (*wp*) dapat diperoleh dengan cara menggunakan metode pemisahan variabel. Koefisien-koefisien yang terdapat pada solusi homogen diekspansikan sesuai dengan pengaruh beban luar (*excitation forces*) yang belum ada pada solusi homogen yang dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$w_p = \sum_{p=1}^{\infty}\sum_{q=1}^{\infty} X_{pq}(x)Y_{pq}(y)\,T_{pq}(t)$$

$$= \left(\int_0^t \left[\frac{P_z\,9x,y,t)}{\rho.h.Q_{pq}}\int_{x=0}^{a} X_{pq}(x)dx\int_{y=0}^{b} Y_{pq}(y)dy\left(\frac{e^{-\xi.\omega_{pq}(t-\tau)}}{\sqrt{1-\xi^2}.\omega_{pq}}Sin\left(\sqrt{1-\xi^2}\,\omega_{pq}(t-\tau)\right)\right)\right]dt.\right) \quad (18)$$

Solusi Total

Setelah solusi homogen dan solusi partikuler diperoleh, dengan demikian maka solusi total sistem dapat dinyatakan sebagai w = w_H + w_P di mana w_H adalah sesuai dengan persamaan (17) dan w_P adalah sesuai dengan persamaan (18) yang secara lengkap dapat dinyatakan sebagai :

$$w(x,y,t)=\sum_{m=1}^{\infty}\sum_{n=1}^{\infty}\left[X_{pq}(x).Y_{pq}(y)\right]\left[\begin{array}{l} e^{-\xi.\omega_{pq}.(t-t_0)}\left[a_{0pq}.e^{\left(i.\omega_{pq}\sqrt{1-\xi^2}\right)(t-t_0)}+b_{0pq}.e^{\left(-i.\omega_{pq}\sqrt{1-\xi^2}\right)(t-t_0)}\right]+e^{-\xi.\omega_{pq}.t} \\ \left(\int_0^t\left[\frac{P_z(x,y,t)}{\rho.h.Q_{pq}}\int_{x=0}^{a}Y_{pq}(y)dy\left(\frac{e^{\xi.\omega_{pq}.\tau}}{\sqrt{1-\xi^2}\,\omega_{pq}}Sin\left(\omega_{pq}\sqrt{1-\xi^2}\,(t-\tau)\right)\right)d\tau\right]\right)\end{array}\right] \quad (19)$$

Fungsi Beban Dinamik

Beban transversal yang melintas di atas permukaan pelat dapat dinyatakan dengan fungsi Diracdelta (Dirac's delta *function*) sebagai berikut :

$$P_z(x,y,t) = P[x(t),y(t),t] = P(t).\delta[x-x(t)].\delta[y-y(t)] \quad (20)$$

di mana :

P(t)	=	Beban dinamik yang bekerja pada pelat yang merupakan fungsi t
	=	$P_0(1+\alpha.Cos[\omega t])$ (21)
P_0	=	Beban tengah rata-rata dan merupakan beban ekuivalen roda kendaraan (*equivalent single axle laod*, ESAL) [kN]
x(t)	=	Fungsi posisi beban di arah x
	=	$V_0 t+\frac{1}{2}a_c t^2$
a	=	Panjang pelat diarah x [m]
b	=	Lebar pelat diarah y [m]
A_c	=	Percepatan beban transversal [m/det^2]
v_0	=	Kecepatan beban transversal [km/jam]
y(t)	=	Fungsi posisi beban di arah y [m]
	=	$\frac{b}{2}$
α	=	Koefisien jenis kendaraan
ω	=	Frekuensi harmonis beban [rad/det]
δ[.]	=	*Dirac's delta function* yang diperlukan untuk penyelesaian persamaan gerak

Dengan mensubsitusikan persamaan (21) ke dalam persamaan (20) dan dengan memasukkan fungsi posisi beban diperoleh persamaan :

$$P(x,y,t) = P_0(1+\alpha\cos[\omega t]).\delta\left[x-x\left(V_0 t+\frac{1}{2}a_c t^2\right)\right].\delta[y-y_0] \quad (22)$$

Bila persamaan (22) disubsitusikan ke dalam persamaan (19) akan diperoleh persamaan berikut :

$$w(x,y,t)=\sum_{m=1}^{\infty}\sum_{n=1}^{\infty}\left[X_{pq}(x).Y_{pq}(y)\right]\left[\begin{array}{l} e^{-\xi.\omega_{pq}.(t-t_0)}\left[a_{0pq}.e^{\left(i.\omega_{pq}\sqrt{1-\xi^2}\right)(t-t_0)}+b_{0pq}.e^{\left(-i.\omega_{pq}\sqrt{1-\xi^2}\right)(t-t_0)}\right]+e^{-\xi.\omega_{pq}.t} \\ \int_0^t\frac{P_0(1+\alpha.Cos[\omega\tau])}{\rho.h.Q_{pq}}\int_{x=0}^{a}X_{pq}(x).\delta\left[x-x\left(V_0.\tau+\frac{1}{2}.Acc.\tau^2\right)\right]dx. \\ \int_{y=0}^{b}Y_{pq}(y).[y-y_0]dy.\left(\frac{e^{\xi.\omega_{pq}.\tau}}{\sqrt{1-\xi^2}\,\omega_{pq}}Sin\left(\sqrt{1-\xi^2}\,\omega_{pq}(t-\tau)\right)d\tau\right)\end{array}\right] \quad (23)$$

https://doi.org/10.24912/jmstkik.v4i1.2287

ISSN 2579-6402 (Versi Cetak)
ISSN-L 2579-6410 (Versi Elektronik)

ntegral *spatial* dalam persamaan (23) dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\int_{=0}^{a} X_{pq}(x).\delta\left[x - x\left(V_o\tau + \frac{1}{2}a_c\tau^2\right)\right]dx \int_{y=0}^{b} Y_{pq}(y).\delta[y - y_0]dy = X_{pq}\left(V_o\tau\frac{1}{2}a_c\tau^2\right)Y_{pq}(y_0) \quad (24)$$

Karena fungsi gerak beban dalam arah $x = V_o t + \frac{1}{2}a_c t^2$ merupakan fungsi waktu, maka persamaan (23) menjadi :

$$w(x,y,t) = \sum_{m=1}^{\infty}\sum_{n=1}^{\infty}\left[X_{pq}(x).Y_{pq}(y)\right]\left[\begin{array}{l} e^{-\xi.w_{pq}(t-t_0)}\left[a_{0pq}.e^{\left(i.w_{pq}.\sqrt{1-\xi^2}\right)(t-t_0)} + b_{0pq}.e^{\left(-i.w_{pq}.\sqrt{1-\xi^2}\right)(t-t_0)}\right] + e^{-\xi.w_{pq}.t} \\ \left[\int_0^t\left(\frac{P_0.(1+\alpha.Cos[\omega\tau]).Y(y_0)}{\rho.h.Q_{pq}}.X_{pq}\left(Vo.\tau + \frac{1}{2}.Acc\tau^2\right).\right)\right. \\ \left.\frac{e^{\xi.\omega_{pq}.\tau}}{\sqrt{1-\xi^2}\,\omega_{pq}}Sin\left(\sqrt{1-\xi^2}\,\omega_{pq}(t-\tau)\right)d\tau\right] \end{array}\right]. \quad (25)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Ukuran dan Sifat Bahan Pelat

Data-data penelitian yang digunakan dalam analisis numerik disajikan secara lengkap pada Tabel 1 dan data beban transerval (beban kendaraan) terlampir pada Tabel 2.

Tabel 1. *Material Properties* Pelat Lantai

No.	Parameter	Notasi	Nilai	Dimensi Satuan
1.	Panjang pelat (Sumbu x)	a	5	m
2.	Lebar pelat (Sumbu y)	b	4	m
3.	Tebal pelat	h	0.20	m
4.	Massa jenis beton	ρ	2400	$\frac{kg}{m^3}$
5.	Kekauan lentur beton (Sumbu x)	D_x	7.41×10^6	N. m
6.	Kekauan lentur beton (Sumbu y)	D_y	9.27×10^6	N. m

Tabel 2. Data Beban Transversal

No.	Parameter	Notasi	Nilai	Dimensi Satuan
1.	Beban kendaraan terpusat	P_o	75000 – 140000	N
2.	Frekuensi beban	ω_b	100	$\frac{rad}{det}$
3.	Koefisien beban	α	0.333 - 0.667	
4.	Kecepatan kendaraan	v_0	60	$\frac{km}{jam}$
5.	Percepatan	A_c	2	$\frac{m}{det^2}$

Pada penelitian ini turut pula melibatkan tanah sebagai medium yang terdapat di bawah dasar pelat lantai. Dukungan tanah dimodelkan menerus di sepanjang bawah pelat digunakan sesuai dengan yang terdapat pada Bab IV.5, Tabel IV.5.1 (Disertasi Douglas, 2006). Nilai konstanta pegas k dan konstanta geser G_s Pasternak dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Konstanta Pegas k dan Geser G_s dari Pondasi Pasternak

		Jenis Tanah		
Konstanta	Satuan	Lunak (*Soft*)	Sedang (*Medium*)	Keras (*Hard*)
k	$\frac{\frac{MN}{m}}{m^2}$	27.2	54.4	108.8
G_s	$\frac{MN}{m}$	9.52	19.04	38.08

Studi Kasus

Dalam penelitian ini diambil beberapa variasi kasus berdasarkan parameter – parameter yang dijelaskan pada Tabel 4 sebagai berikut :

https://doi.org/10.24912/jmstkik.v4i1.2287

ISSN 2579-6402 (Versi Cetak)
ISSN-L 2579-6410 (Versi Elektronik)

Tabel 4. Variasi Studi Kasus Penelitian

Kasus		a [m]	b [m]	h [m]	Po [kN]	Acc [m/det^2]	Alfa [α]	ζ	k [MN/m/m^2]	G_s [MN/m]	Keterangan
1	A	5	4	0,2	80	2	0,5	0.05	-	-	Tanpa Lapisan Tanah
	B								27,2	9,52	Lapisan Tanah Lunak
	C								54,4	19,04	Lapisan Tanah Sedang
	D								108,8	38,8	Lapisan Tanah Keras
2	A	5	4	0,2	80	2	0,5	0	27,2	9,52	Lapisan Tanah Lunak
	B							0.05			
	C							0.1			
3	A	5	4	0,2	80	2	1/3	0.05	27,2	9,52	Lapisan Tanah Lunak
	B						1/2				
	C						2/3				
4	A	5	4	0,2	75	2	0,5	0.05	27,2	9,52	Lapisan Tanah Lunak
	B				80						
	C				140						

Hasil Analisis

Berdasarkan tabel variasi kasus diatas dilakukan analisis untuk mendapat hasil akhir berupa lendutan absolut maksimum, kecepatan kritis, dan gaya-gaya dalam struktur.

Tabel 5. Lendutan Absolut Maskimum Studi Kasus [1] – Studi Kasus [4]

Lendutan Absolut Maksimum			
Kasus		Lendutan Absolut Maksimum [m]	Waktu [det]
1	A	0.00269	0.057
	B	0.00091	0.040
	C	0.00068	0.052
	D	0.00035	0.056
2	A	0.00132	0.039
	B	0.00091	0.040
	C	0.00070	0.041
3	A	0.00093	0.040
	B	0.00091	0.040
	C	0.00089	0.063
4	A	0.00085	0.040
	B	0.00091	0.040
	C	0.00159	0.040

Sesuai dengan parameter yang digunakan dalam penelitian ini yaitu pelat lantai harus memenuhi syarat lendutan kecil (*small deflection theory*) dengan lendutan yang terjadi tidak boleh melebihi batas ijin sebesar sepersepuluh tebal pelat. Tebal pelat yang digunakan dalam penelitian adalah 0.2 m, sehingga lendutan ijin adalah 0.02 m. Dapat disimpulkan berdasarkan tabel diatas bahwa dari semua variasi studi kasus.

Studi kasus yang digunakan untuk mendapatkan respons maksimum yang dicari berdasarkan kecepatan terdiri dari 4 studi kasus utama yaitu perbandingan kekuatan tanah pendukung pelat, rasio redaman (*damping ratio*), koefisien beban, dan jenis truk yang melintas. Lendutan absolut kecepatan kritis untuk masing-masing studi kasus yang diteliti diukur di pusat pelat dapat dilihat pada Tabel 6 dan Tabel 7.

Tabel 6. Lendutan Absolut Kecepatan Kritis – Studi Kasus [1] & [2]

Kecepatan (V)	Lendutan Absolut Kecepatan Kritis						
	[1A]	[1B]	[1C]	[1D]	[2A]	[2B]	[2C]
	Tanpa Lapisan Tanah	Lapisan Tanah Lunak	Lapisan Tanah Sedang	Lapisan Tanah Keras	$\zeta = 0\%$	$\zeta = 5\%$	$\zeta = 10\%$
[Km/Jam]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
0	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.002420	0.000977	0.000665	0.000425	0.001720	0.000977	0.000991
16	0.002616	0.000979	0.000624	0.000377	0.001583	0.000979	0.000902
24	0.002633	0.001056	0.000636	0.000398	0.001674	0.001056	0.000913
32	0.003191	0.001309	0.000745	0.000443	0.001742	0.001309	0.001104
40	0.003456	0.001376	0.000763	0.000491	0.001801	0.001376	0.001166
48	0.003362	0.001223	0.000803	0.000490	0.001650	0.001223	0.001031
56	0.002963	0.000943	0.000740	0.000406	0.001347	0.000943	0.000790
64	0.002390	0.000908	0.000607	0.000332	0.001323	0.000908	
72			0.000539		0.001260		0.000737
80	0.002283	0.000880	0.000549	0.000323	0.001137	0.000880	0.000805
88	0.002443	0.000949		0.000343		0.000949	0.000870
96	0.002585	0.001014	0.000562	0.000357	0.001117	0.001014	0.000934
104	0.002689	0.001076	0.000603	0.000364	0.001178	0.001076	0.000995
112	0.002796	0.001135	0.000643	0.000362	0.001235	0.001135	0.001053
Minimum	0.002106	0.000870	0.000538	0.000309	0.00105	0.00087	0.00069
Maksimum	0.003456	0.001376	0.000803	0.000491	0.00192	0.00138	0.00117

https://doi.org/10.24912/jmstkik.v4i1.2287

ISSN 2579-6402 (Versi Cetak)
ISSN-L 2579-6410 (Versi Elektronik)

Tabel 7. Lendutan Absolut Kecepatan Kritis – Studi Kasus [3] & [4]

Kecepatan (V)	Lendutan Absolut Kecepatan Kritis					
	[3A]	[3B]	[3C]	[4A]	[4B]	[4C]
	$\alpha = 0.333$	$\alpha = 0.5$	$\alpha = 0.667$	$P_0 = 75$ kN	$P_0 = 80$ kN	$P_0 = 140$ kN
[Km/Jam]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
0	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.000856	0.000977	0.001097	0.000915	0.000977	0.001709
16	0.000871	0.000979	0.001088	0.000917	0.000979	0.001712
24	0.000935	0.001056	0.001187	0.000990	0.001056	0.001848
32	0.001148	0.001309	0.001471	0.001227	0.001309	0.002291
40	0.001206	0.001376	0.001547	0.001290	0.001376	0.002409
48	0.001071	0.001223	0.001376	0.001147	0.001223	0.002141
56	0.000910	0.000943	0.001061	0.000884	0.000943	0.001649
64	0.000928	0.000908	0.000888	0.000851	0.000908	0.001588
72	0.000891	0.000870	0.000883	0.000816	0.000870	0.001523
80	0.000811	0.000880	0.000960	0.000825	0.000880	0.001541
88	0.000864	0.000949	0.001034	0.000889	0.000949	0.001660
96	0.000924	0.001014	0.001105	0.000950	0.001014	0.001774
104	0.000981	0.001076	0.001172	0.001009	0.001076	-
112	0.001035	0.001135	0.001236	0.001064	0.001135	-
Minimum	0.00081	0.00087	0.00088	0.00082	0.00087	0.00152
Maksimum	0.00121	0.00138	0.00155	0.00129	0.00138	0.00241

Gaya-gaya dalam berupa momen dan gaya geser dapat dihitung sesuai dengan teori lendutan kecil Kirchoff sebagai berikut :

$$\text{Momen } m_x = -D_x\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2}\right) \tag{26}$$

$$\text{Momen } m_y = -D_y\left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}\right) \tag{27}$$

$$\text{Gaya geser } q_x = -\frac{\partial}{\partial x}\left(D_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + B\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}\right) \tag{28}$$

$$\text{Gaya geser } q_y = -\frac{\partial}{\partial y}\left(D_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + B\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}\right) \tag{29}$$

Jika melihat Persamaan 26 sampai dengan Persamaan 27, momen lentur arah x dan y merupakan turunan kedua dari fungsi lendutan w (x,y,t) yang sudah diturunkan pada Bab 3. Selain itu, defleksi fungsi lendutan w (x,y,t) bila diturunkan tiga kali maka akan diperoleh gaya geser pada sumbu x dan y. Adapun parameter analisis ini bahwa kendaraan berada pada posisi awal $x_{(0)} = V_o t + \frac{1}{2}a_c t^2$ dan $y_{(0)} = \frac{b}{2}$. Hasil gaya-gaya dalam terlampir pada Tabel 6 dan Tabel 7.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan pada penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Salah satu faktor yang menyebabkan meningkatnya nilai frekuensi alami struktur adalah kondisi tanah pendukung pelat. Pada penelitian ini diteliti 3 jenis tanah pendukung yaitu tanah lunak, tanah sedang, dan tanah keras. Berdasarkan hasil analisis didapat bahwa semakin tinggi daya dukung tanah maka struktur yang dihasilkan akan menjadi lebih kaku sehingga baik lendutan maupun gaya dalam yang dihasilkan lebih kecil.

Tabel 8. Riwayat Waktu Mpomen Lentur Studi Kasus [1] – Studi Kasus [4] di Pusat Pelat Pada Waktu $0 \leq t \leq t_0$

Gaya Dalam		Riwayat Waktu Momen dan Gaya Geser di Pusat Pelat pada Interval $0 \leq t \leq t_0$												
Momen		Kasus - [1]				Kasus - [2]			Kasus - [3]			Kasus - [4]		
[N.m]		1A	1B	1C	1D	2A	2B	2C	3A	3B	3C	4A	4B	4C
Momen X	Max	19238.5	11880.1	7634.1	6329.3	20946.0	11880.1	10003.9	12594.8	11880.1	11169.7	11137.6	11880.1	20790.1
(M_x)	Min	-6573.3	-4494.8	-3816.9	-3587.2	-10792.4	-4494.8	-2867.0	-3777.8	-4494.8	-5217.3	-4213.9	-4494.8	-7865.9
Momen Y	Max	35141.8	15814.0	12786.5	8186.4	26084.9	15814.0	13567.5	16791.2	15814.0	14843.2	14825.7	15814.0	27674.6
(M_y)	Min	-10372.7	-3880.1	-1655.7	-1345.0	-11905.3	-3880.1	-1440.4	-1991.6	-3880.1	-5790.7	-3637.5	-3880.1	-6790.1

Tabel 9. Momen dan Gaya Geser Studi Kasus [1] – Studi Kasus [4] Akibat Beban Bergerak pada Saat t (detik)

Gaya Dalam		Momen dan Gaya Geser Akibat Beban Bergerak pada Saat t (detik)												
Momen / Geser		Kasus - [1]				Kasus - [2]			Kasus - [3]			Kasus - [4]		
[N.m] / [N]		1A	1B	1C	1D	2A	2B	2C	3A	3B	3C	4A	4B	4C
Momen X	Max	31333.4	12089.5	14153.1	11360.6	20291.7	12089.5	9911.6	12864.6	12089.5	21497.8	11333.9	12089.5	21156.6
(M_x)	Min	-3894.3	-1208.6	-1729.6	-2586.5	-1352.6	-1208.6	-954.9	-1198.6	-1208.6	-3672.3	-1133.1	-1208.6	-2115.1
Momen Y	Max	34773.0	15800.7	12485.4	6255.4	25610.9	15800.7	13358.7	16787.6	15800.7	10598.2	14813.1	15800.7	27651.2
(M_y)	Min	23158.1	6780.5	3734.9	1400.0	7696.4	6780.5	4360.8	6453.6	6780.5	6845.0	6356.7	6780.5	11865.8
Geser X	Max	27253.7	19461.6	28825.0	23772.4	36009.9	19461.6	16901.0	21919.7	19461.6	39240.9	18245.3	19461.6	34057.8
(Q_x)	Min	-59472.9	-16926.0	-25918.3	-27588.9	-31458.7	-16926.0	-16251.6	-18871.1	-16926.0	-45593.6	-15868.2	-16926.0	-29620.6
Geser Y	Max	15507.5	17098.7	13348.9	5005.7	32446.4	17098.7	17291.8	19536.4	17098.7	5037.1	16030.0	17098.7	29922.7
(Q_y)	Min	-15507.4	-17098.7	-13349.1	-5005.8	-32446.4	-17098.7	-17291.8	-19536.4	-17098.7	-5037.4	-16030.0	-17098.7	-29922.7

2. Berdasarkan hasil analisis lendutan absolut maksimum untuk setiap kasus dapat disimpulkan sebagai berikut :
   - Untuk Kasus [1] : Lendutan absolut maksimum semakin kecil bila daya dukung tanah pendukung meningkat. Penurunan lendutan absolut maksimum cukup signifikan sebesar 66% sampai 87%.
   - Untuk Kasus [2] : Penambahan nilai rasio redaman (*damping ratio*) 5% dan 10% menyebabkan penurunan lendutan absolut maksimum dari pelat dibandingkan lendutan pada pelat dengan mengasumsikan tidak adanya redaman. Penurunan lendutan absolut maksimum sebesar 31.26% dan 47.18%.
   - Untuk Kasus [3] : Analisis lebih lanjut mengenai variasi koefisien kendaraan (α) 0.333, 0.5, dan 0.667. Lendutan absolut maksimum diantara ketiga variasi tersebut tidak menunjukan perbedaan yang signifikan.

https://doi.org/10.24912/jmstkik.v4i1.2287

ISSN 2579-6402 (Versi Cetak)
ISSN-L 2579-6410 (Versi Elektronik)

- Untuk Kasus [4] : Lendutan absolut maskimum semakin besar berbanding lurus dengan semakin berat kendaraan yang melintas diatas struktur perkerasaan.

3. Lendutan maksimum yang terjadi pada studi kasus 1A merupakan lendutan maksimum diantara semua studi kasus, dengan kondisi tidak adanya lapisan tanah pendukung. Hal ini disebabkan karena frekuensi beban (ω_b) = 100 rad/det yang melintas yang berdekatan dengan frekuensi alami sistem (ω_n) = 162.393 rad/det.
4. Pengaruh kecepatan terhadap respons dinamik sistem untuk studi kasus [1] dan [2] kecepatan kritis yang menghasilkan lendutan dinamik maksimum bervariasi dari 40 – 48 km/jam dan kecepatan 64 – 88 km/jam merupakan kecepatan kritis yang menghasilkan lendutan dinamik minimum. Lendutan dinamik maksimum terjadi pada kasus 2A dengan nilai 0.001916 m (nilai ini hanya berkisar 10% dari lendutan ijin sebesar 0.02 m).
5. Pengaruh kecepatan terhadap respons dinamik sistem untuk studi kasus [3] dan [4] didapatkan bahwa kecepatan 40 km/jam merupakan kecepatan kritis yang menghasilkan lendutan dinamik pelat maksimum dan kecepatan 72 km/jam merupakan kecepatan kritis sistem yang menyebabkan lendutan dinamik pelat minimum.
6. Berdasarkan hasil analisis gaya dalam untuk setiap kasus dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Untuk Kasus [1] : Riwayat waktu dan gaya-gaya dalam pelat untuk studi kasus [1] di pusat pelat pada interval waktu $0 \leq t \leq t_0$ didapatkan bahwa semakin baik kualitas tanah pendukung pelat maka semakin kecil momen x, momen y, gaya geser x dan gaya geser y yang terjadi.
- Untuk Kasus [2] : Riwayat waktu dan gaya-gaya dalam pelat untuk studi kasus [2] di pusat pelat pada interval waktu $0 \leq t \leq t_0$ didapatkan bahwa semakin besar nilai rasio redaman (ζ) maka semakin kecil momen x, momen y, gaya geser x dan gaya geser y yang terjadi.
- Untuk Kasus [3] : Riwayat waktu dan gaya-gaya dalam pelat untuk studi kasus [3] di pusat pelat pada interval waktu $0 \leq t \leq t_0$ didapatkan bahwa semakin besar koefisien jenis kendaraan (α) maka semakin kecil momen x, momen y, gaya geser x dan gaya geser y yang terjadi.
- Untuk Kasus [4] : Riwayat waktu dan gaya-gaya dalam pelat untuk studi kasus [4] di pusat pelat pada interval waktu $0 \leq t \leq t_0$ didapatkan bahwa semakin berat beban transversal yang melintas (P_0) semakin besar momen x, momen y, gaya geser x dan gaya geser y yang terjadi.

Saran

Penelitian lebih lanjut mengenai perilaku dinamik pelat lantai dasar bangunan akibat beban setempat *Friedlander* dapat dilakukan dengan:

1. Memodelkan beban bergerak dengan kecapatan awal dan perlambatan.
2. Mengadakan studi dengan menggunakan model pondasi yang lainnya, seperti model pondasi Kerr.
3. Menambahkan pengaruh beban *in-plane* tarik dan beban kendaraan dengan percepatan.
4. Memodelkan ruji (*dowel*) sebagai alat transfer beban yang memberikan tahanan vertikal dan tahanan rotasi pada pelat serta menambahkan beban *in-plane* tarik.

REFERENSI

AASHTO. (1993). Guide For Design of Pavement Structures. Washington DC: The American Association of State Highway Transportation Officials.

Alisjahbana, S.W., (2011). *Dinamika Struktur Pelat II*, UB Press, ISBN 978-95879-4-8.

Alisjahbana, S. W., Wangsadinata, W. (2012). "*Dynamic Analysis of Rigid Roadway Pavement Under Moving Traffic Loads with Variable Velocity*". *Interaction and Multiscale Mechanics : An International Journal*, Vol. 5, No. 2, pp 105-114.

Baadilla, Douglas Abdullah. (2006). "Dinamika Pelat Perkerasan kaku dengan Tahanan Tepi Sembarang". Disertasi Doktor Teknik Sipil, Pascasarjana Universitas Tarumanagara, Jakarta.

https://doi.org/10.24912/jmstkik.v4i1.2287