

Perilaku Dinamik Pelat Lantai Dengan Balok Anak Akibat Beban Ledakan Modifikasi Reed

Haryo Koco Buwono^{1,*}, Sofia W. Alisjahbana², Najid³

¹Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta, Jl. Cempaka Putih Tengah 27
Jakarta, 10510

²Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Bakrie, Jl. H. R. Rasuna Said No. Kav
C22 Jakarta, 12940

³Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta, 11440

*E-mail: haryo.koco@umj.ac.id

ABSTRAK

Ledakan pada bangunan tidak selalu akibat dari serangan teroris, beberapa kecelakaan kerja akibat alat atau bahan yang mudah meledak sebagai pemicu problem pada konstruksi. Persamaan Friedlander telah memiliki banyak modifikasi diantaranya persamaan reed. Reed (2008) mengemukakan usulan modifikasi friedlander menggunakan polinomial orde 4. Persamaan reed masih relatif tidak mendekati persamaan friedlander. Persamaan reed hanya dihitung hingga $t = 25/7$ (s) pada fase negatif. Sedangkan friedlander dihitung pada $t = 5$ jika keduanya ditinjau pada kondisi tanpa beban atau kondisi satu satuan. Perlu dilakukan evaluasi menggunakan persamaan polinomial orde 4 yang mendekati persamaan ledakan friedlander. Perilaku dinamik terhadap struktur harus dipertimbangkan dalam desain elemen struktur. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis secara numerik efek ledakan pada pelat lantai ortotropik yang memiliki perletakan partial fixity dan pengaku balok anak pada arah x, yaitu pada arah bentang pendek. Perilaku dari konfigurasi ortotropik pelat, lokasi muatan ledakan yang terpusat pada tengah bentangan serta pengaruh ketebalan dan pengaku terhadap defleksi vertikal pelat diselesaikan secara numerik dengan menggunakan dua persamaan bantu dalam arah x dan arah-y. Analisis menghasilkan defleksi vertikal terhadap hubungan waktu. Makalah ini memperkenalkan perilaku dinamik dari beban ledakan modifikasi Reed dengan polinomial orde 4 pada pelat ortotropik dengan pengaku balok anak arah x.

Kata kunci: beban ledakan, pelat lantai, pengaku, Reed, polinomial orde 4

ABSTRACT

Explosions in buildings are not always the result of terrorist attacks, some work accidents due to explosive tools or materials. This is trigger problems in construction. Friedlander's equation has many modifications including the reed equation. Reed (2008) proposes a modified Friedlander using a 4th order polynomial. The Reed equation is still relatively not close to the Friedlander equation. The reed equation is only calculated up to $t = 25/7$ (s) in the negative phase. Meanwhile, the friedlander is calculated at $t = 5$ if both are reviewed at no load or one unit condition. It is necessary to evaluate using the 4th order polynomial equation which is close to the Friedlander explosion equation. Dynamic behavior of structures must be considered in the design of structural elements. The aim of this research is to numerically analyze the effect of explosions on orthotropic floor plates which have partial fixity placement and stiffeners in the x direction, namely in the short span direction. The behavior of the plate orthotropic configuration, the location of the blast charge centered in the center of the stretch and the effect of thickness and stiffening on the vertical deflection of the plates are solved numerically using two auxiliary equations in the x and y-directions. The analysis resulted in vertical deflection with respect to time. This paper introduces the dynamic behavior of Reed's modified blast loads with polynomials of order 4 on orthotropic plates with x-direction joist stiffeners.

Keywords: blast loads, floor plates, stiffeners, Reed, polynomials 4th order

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sistem pelat lantai yang dipilih untuk suatu bangunan gedung berbeda-beda, tergantung pada fungsi ruangan dan batasan ekonomi dan kebutuhan arsitektural. Sistem pelat lantai beton bertulang dalam peraturan SNI 2847:2013 terdiri dari dua, yaitu one way slab (pelat satu arah) dan two way slab (pelat dua arah). Desain pelat dalam perencanaan ideal adalah harus mampu dan efektif untuk menahan beban apa saja yang kemungkinan bekerja pada pelat tersebut, termasuk diantaranya beban ledakan. Ledakan adalah reaksi kimia yang sangat cepat dengan melepaskan tekanan dan energi panas yang hanya berlangsung dalam beberapa milidetik. Tekanan yang dihasilkan sangat besar melalui udara dan mengisi seluruh ruangnya melalui gelombang rambat yang lebih cepat dari kecepatan suara. Tekanan ledakan yang sangat besar tersebut menekan udara disekitar ledakan sehingga terciptalah efek gelombang ledakan (Rigby et al., 2014). Setiap gelombang ledakan ditandai dengan adanya parameter: (a) puncak tekanan positif (P_{so}) dan negatif, (b) periode ledakan berupa durasi positif (t_{dp}) dan negatif (t_{dn}). Skenario beban ledakan dipengaruhi oleh model persamaan yang diinput sebagai beban dinamis pada konstruksi (Karlos & Solomon, 2013). Persamaan Reed 1977 menyatakan bahwa pendekatan persamaan ledakan Friedlander 1946 yaitu:

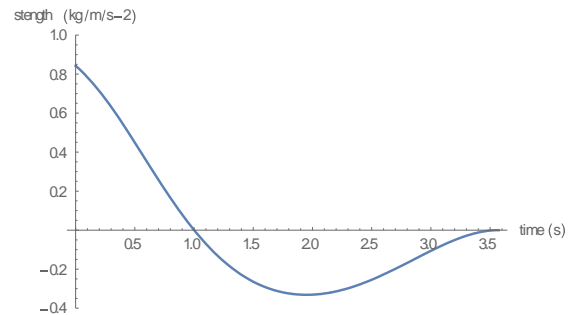
$$p_r(t) = p_{r,max} \left(1 - \frac{t}{t_d}\right) e^{-bt/t_d} \quad (1)$$

$0 \leq t \leq t_d$

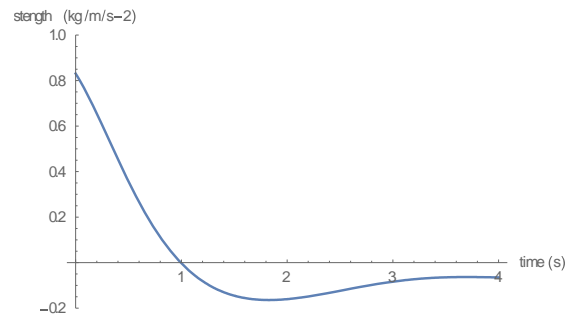
didekatkan dengan model polinomial orde 4, dimana dinyatakan sebagai berikut ini. (Garces, 2019)

$$P(t) = P_r \left(1 - \frac{t}{t_d}\right) \left[1 - \frac{7}{25} \frac{t}{t_d}\right] \left[1 - \left(\frac{7}{25} \frac{t}{t_d}\right)^2\right] \quad (2)$$

$0 \leq t \leq \frac{25}{7}$



Gambar 1. Persamaan Beban Ledakan Reed 1977 (Garces, 2019)



Gambar 2. Persamaan Beban Ledakan Polinomial orde 4

Pada Gambar 1, persamaan polinomial Reed ini menyatakan bahwa pada batasan t_d (durasi fase positif) adalah untuk menyelesaikan keseluruhan fase positif dan fase negatif ledakan sekaligus. Setelah beban ledakan melewati fase positifnya, perilaku beban berubah menjadi beban tekanan negatif (hisap). Fase ini pada umumnya memiliki amplitudo maksimum yang kurang dari fase positifnya, tetapi durasi yang lebih panjang, kurang lebih dua kali lipat durasi fase positifnya. Setelah melalui kedua fase ini, ledakan memiliki fase lanjutan yaitu fase free vibration, atau fase tanpa beban. Pelat lebit terpengaruh justru pada dampak

pasca ledakan atau pada fase free vibration. (Alisjahbana et al., 2019)

1.2. Polinomial Orde 4 Pendekatan Friedlander

Pada Gambar 2 adalah fase ledakan modifikasi Friedlander menggunakan Polinomial Orde 4. Pendekatan ini menggunakan metode regresi dengan tinjauan faktor error terkecil, dengan persamaan sebagai berikut:

$$P_{(t)} = P_r \left(0,0151 \left(\frac{t}{td} \right)^4 - 0,1946 \left(\frac{t}{td} \right)^3 + 0,8949 \left(\frac{t}{td} \right)^2 - 1,6898 \left(\frac{t}{td} \right) + 0,9720 \right) \quad 0 \leq t \leq \frac{25}{7} \quad (3)$$

Persamaan ini terhadap persamaan Friedlander 1946 memiliki faktor error 1,64%. Sedangkan terhadap persamaan Reed 1977 memiliki error sebesar 8,96%. Berdasarkan Gambar 1, faktor error persamaan Reed ternyata memiliki error yang besar terhadap Friedlander 1946, yaitu sebesar 7,33%. Jika ditinjau pendekatan atau modifikasi persamaan ledakan Friedlander, maka persamaan polinomial mendekati aktual persamaan Friedlander 1946. Selanjutnya dalam makalah ini menggunakan Polinomial orde 4.

1.3. Deskripsi Pelat Lantai

Dalam menganalisis suatu struktur, perlu diketahui bagaimana perilaku struktur tersebut terhadap beberapa macam eksitasi atau getaran. Salah satu besaran yang mencerminkan perilaku struktur adalah frekuensi alaminya. Frekuensi alami struktur dapat dicari dengan mengasumsi struktur tidak memiliki redaman dan tidak ada pembebanan yang bekerja pada struktur, hanya ada initial condition saja. Hal ini juga sering dikenal sebagai analisis getaran bebas.

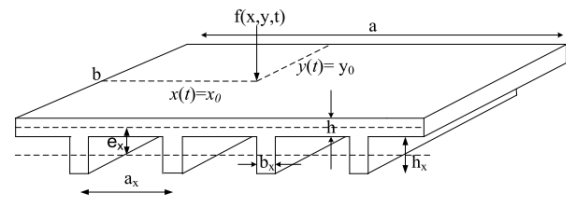
Persamaan diferensial pelat ortotropik elastis yang teredam diperoleh dengan menjumlahkan semua gaya dalam yang

bekerja pada sistem pelat yang harus seimbang dengan beban luar yang bekerja.

$$D_x \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2B \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + D_y \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} + \rho h \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + \xi h \frac{\partial w}{\partial t} = p_z(x, y)$$

(4)

Untuk pelat ortotropik persegi empat yang diperkaku dengan balok anak, persamaan di atas dapat digunakan untuk memperoleh respons pelat terhadap beban tertentu. Parameter geometri yang perlu diketahui pada suatu pelat ortotropik persegi empat yang diperkaku dengan balok anak dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Pelat ortotropik persegi empat dengan balok anak (Alisjahbana et al., 2019)

1.4. Solusi Levy

Penyelesaian persamaan gerak di atas pertama menggunakan boundary condition sendi pada keempat sisinya. Kondisi ini akan timbul putaran sudut pada tepi pelat tetapi tidak akan terjadi momen lentur. Kondisi tertumpu sederhana dapat diselesaikan dengan solusi Navier maupun solusi Levy. Mencari solusi persamaan gerak untuk kondisi sendi dimulai dengan memilih trial function yang memenuhi syarat batas kondisi tertumpu sederhana. Pada solusi ini, pengaruh redaman pada struktur juga diabaikan.

Persamaan *trial function* yang dipilih merupakan perkalian dua komponen, yaitu fungsi spasial atau posisi dan fungsi waktu. Defleksi transversal pelat sebagai fungsi posisi dan waktu dapat dinyatakan seperti pada persamaan (5).

$$w(x,y,t) = W(x,y)T(t) = W(x,y) \sin \omega t \quad (6)$$

Keterangan:

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

ω = frekuensi alami sistem

Persamaan *trial function* disubstitusikan ke dalam persamaan diferensial gerak untuk sistem pelat ortotropik dan dilakukan operasi aljabar untuk memperoleh persamaan (7) di bawah ini.

$$\omega_{mn}^2 = \frac{\pi^4}{\rho h} \left[D_x \left(\frac{m}{a} \right)^4 + 2B \left(\frac{mn}{ab} \right)^2 + D_y \left(\frac{n}{b} \right)^4 \right] \quad (7)$$

Persamaan (9) di atas adalah persamaan untuk besaran *eigenvalue* untuk salah satu bentuk ragam struktur. Dengan menghitung akar positif dari nilai *eigenvalue* dapat diperoleh besaran frekuensi alami struktur. Persamaan untuk memperoleh *eigenvalue* di atas hanya berlaku untuk struktur dengan syarat batas terletak sederhana pada semua sisinya, sedangkan objek penelitian ini adalah struktur pelat dengan syarat batas yang *partial fixity* sehingga persamaan tersebut perlu dimodifikasi terlebih dahulu.

1.5. Modifikasi Metode Bolotin

Modified Bolotin Method adalah salah satu cara untuk menyelesaikan persamaan diferensial pelat dengan syarat batas *partial fixity* dan juga dapat memperhitungkan pengaruh dari mode yang tinggi.

Eigenvalue untuk pelat persegi panjang dengan kondisi *partial fixity* pada semua sisinya dapat dicari dengan menganalogikan pelat tersebut sebagai pelat yang tertumpu sederhana pada semua sisinya. Nilai integer index untuk arah x dan arah y digantikan dengan koefisien p untuk pola getar arah x dan q untuk pola getar arah y. Nilai p dan q adalah bilangan riil yang diperoleh mencari solusi untuk masalah *auxiliary*. Persamaan *eigenvalue* untuk pelat dengan syarat batas *partial fixity* dinyatakan sebagai persamaan (8) berikut ini.

$$\omega_{pq}^2 = \frac{\pi^4}{\rho h} \left[D_x \left(\frac{p}{a} \right)^4 + 2B \left(\frac{pq}{ab} \right)^2 + D_y \left(\frac{q}{b} \right)^4 \right] \quad (8)$$

Keterangan:

p = bilangan riil yang diperoleh dari solusi *auxiliary* pada arah x

q = bilangan riil yang diperoleh dari solusi *auxiliary* pada arah y.

1.5.1. Solusi Auxiliary Pertama

Trial function untuk solusi *spatial auxiliary* pertama (arah x) dinyatakan sebagai berikut:

$$W(x,y) = X(x) \sin \left[\frac{q\pi y}{b} \right] \quad (9)$$

Persamaan diperoleh solusi fungsi posisi arah X sebagai berikut:

$$X(x) = A_1 e^{i \frac{p\pi}{a} x} + A_2 e^{\frac{\pi}{ab} \beta x} + A_3 e^{-i \frac{p\pi}{a} x} + A_4 e^{-i \frac{p\pi}{a} \beta x} \quad (10)$$

Maka,

$$X(x) = \text{Cosh} \left[\frac{\beta \pi x}{ab} \right] + \frac{(b(p k_1 (c_1 - c_2) + a(F_1 + F_2) s_1))}{(k_1 (b p s_1 - \beta s_1))} \text{Sinh} \left[\frac{\beta \pi x}{ab} \right] - \text{Cos} \left[\frac{p \pi x}{a} \right] + \frac{(ab(F_1 + F_2) s_1 + \beta k_1 (c_1 - c_2))}{(k_1 (\beta s_1 - b p s_1))} \text{Sin} \left[\frac{p \pi x}{a} \right] \quad (11)$$

1.5.2. Solusi Auxiliary Kedua

Solusi untuk masalah *auxiliary* kedua dapat dihitung dengan cara yang untuk masalah *auxiliary* pertama, hanya bedanya pada *auxiliary* kedua dihitung terhadap sumbu y. *Trial function* untuk solusi *spatial auxiliary* kedua (arah y) dinyatakan sebagai berikut:

$$W(x,y) = Y(y) \sin \left[\frac{p\pi x}{a} \right] \quad (12)$$

Persamaan diperoleh solusi fungsi posisi arah Y sebagai berikut:

$$Y(y) = B_1 e^{\frac{\pi}{ab} \beta y} + B_2 e^{-\frac{\pi}{ab} \beta y} + B_3 e^{i \frac{q\pi}{b} y} + B_4 e^{-i \frac{q\pi}{b} y} \quad (13)$$

Maka,

$$Y = \text{Cosh} \left[\frac{\theta \pi y}{ab} \right] + \frac{(a(qk_2(c_2 - C_2) + b(F_3 + F_4)S_2))}{(k_2(aqS_2 - \theta S_2))} \text{Sinh} \left[\frac{\theta \pi y}{ab} \right] - \text{Cos} \left[\frac{q \pi y}{b} \right] + \frac{(ab(F_3 + F_4)S_2 + \theta k_2(c_2 - C_2))}{(k_2(\theta S_2 - aqS_2))} \text{Sin} \left[\frac{q \pi y}{b} \right] \quad (14)$$

1.6. Solusi Total Persamaan Gerak Pelat

Respons pelat terhadap beban transversal dinamik meliputi dua solusi, yaitu solusi homogen (*free vibration*) dan solusi partikuler (*forced vibration*). Solusi homogen dan solusi partikuler diselesaikan secara terpisah dan kedua solusi dijumlahkan untuk mendapatkan respons total pelat. Hubungan ini dapat dinyatakan sebagai persamaan berikut ini:

$$W_H + W_p = W_{mnt} \quad (15)$$

Solusi homogen, W_H , adalah solusi untuk keadaan struktur yang tidak menerima eksitasi yang berupa beban melainkan karena adanya deformasi atau kecepatan awal (initial condition) yang menyebabkan akan terjadinya respons struktur.

Solusi homogen persamaan diferensial di atas bersifat linear sehingga dapat menggunakan metode superposisi untuk setiap nilai auxiliary p dan q. Jadi, solusi homogen total untuk jumlah mode tertentu dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$w_h = w(x, y, t) = \sum_{p=1}^{\infty} \sum_{q=1}^{\infty} W_{pq}(x, y) \cdot T_{pq}(t) = \sum_{p=1}^{\infty} \sum_{q=1}^{\infty} X_{pq}(x) Y_{pq}(y) e^{-\xi \omega_{pq} t} (a_0 \cos(\omega_D t) + b_0 \sin(\omega_D t)) \quad (16)$$

Seperti dengan hal penyelesaian solusi homogenya, penyelesaian solusi partikuler juga menggunakan metode pemisahan variabel. Solusi homogen $\hat{T}_{pq}(t)$ masih mengandung konstanta yang dapat

diperoleh dengan menggunakan kondisi awal. Fungsi ini memperlihatkan kondisi getaran *transient* tanpa beban. Sedangkan solusi partikuler $T^*_{pq}(t)$ menggambarkan keadaan getaran. Solusi partikuler dari persamaan diferensial merupakan gabungan solusi spatial dan solusi partikuler temporal sebagai persamaan berikut:

$$w_p = \sum_{p=1}^{\infty} \sum_{q=1}^{\infty} X_{pq}(x) \cdot Y_{pq}(y) = \int_0^t \left[\frac{p(x, y, \tau)}{\rho h Q_{pq}} \int_{x=0}^a X_{pq}(x) dx * \int_{y=0}^b Y_{mn}(y) dy \frac{e^{-\xi \omega_{pq}(t-\tau)}}{\omega_D} \sin(\omega_D(t-\tau)) d\tau \right] \quad (17)$$

Solusi total adalah respons total sesungguhnya yang sudah memperhitungkan efek dari getaran bebas sekaligus getaran paksa. Solusi total diperoleh dengan menjumlahkan solusi homogen dari persamaan (16) dan solusi partikuler dari persamaan (17) sehingga diperoleh persamaan berikut:

$$w = \sum_{p=1}^{\infty} \sum_{q=1}^{\infty} X_{pq}(x) Y_{pq}(y) e^{-\xi \omega_{pq} t} (a_0 \cos(\omega_D t) + b_0 \sin(\omega_D t)) + \int_0^t \left[\frac{p(x, y, \tau)}{\rho h Q_{pq}} \int_{x=0}^a X_{pq}(x) dx * \int_{y=0}^b Y_{mn}(y) dy \frac{e^{-\xi \omega_{pq}(t-\tau)}}{\omega_D} \sin(\omega_D(t-\tau)) d\tau \right] \quad (18)$$

1.7 Momen dan gaya Geser

Pelat dengan syarat batas *partial fixity* pada sisi-sisinya akan terjadi momen lentur pada sisinya, nilai momen lentur tergantung pada kekakuan rotasi pada sisi-sisi tersebut. Syarat batas untuk kondisi *partial fixity* diperoleh dengan persamaan (19) dan (20).

$$m_{(x,y)} = -D_x \left(\frac{\partial^2 w(x,y)}{\partial x^2} + \nu_y \frac{\partial^2 w(x,y)}{\partial y^2} \right) = k_1 \frac{\partial w(x,y)}{\partial x} \text{ di } x = 0 \text{ dan } x = a \quad (19)$$

$$m_{(x,y)} = -D_y \left(\frac{\partial^2 w(x,y)}{\partial y^2} + \nu_x \frac{\partial^2 w(x,y)}{\partial x^2} \right) = k_2 \frac{\partial w(x,y)}{\partial x} \text{ di } y = 0 \text{ dan } y = b \quad (20)$$

1.8 Tegangan Utama Momen Lentur

Tegangan utama maksimum adalah tegangan normal maksimum pada saat orientasi partikel diubah sehingga nilai tegangan geser adalah nol. Sedangkan tegangan utama minimum adalah tegangan normal minimum pada saat orientasi partikel diubah sehingga nilai tegangan geser adalah nol. Besaran tegangan utama maksimum dan minimum dihitung dengan persamaan yang diperoleh oleh teori Mohr.

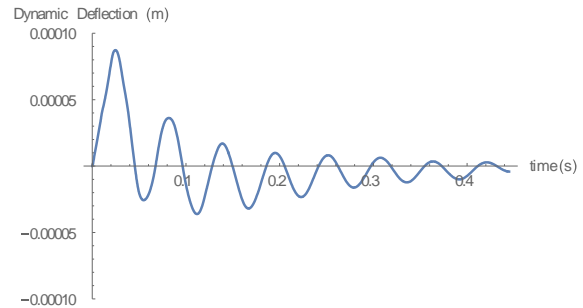
2. Persamaan Beban Ledakan Setempat

Untuk mendapatkan solusi total sistem, harus terlebih dahulu mendefinisikan fungsi beban dinamik yang bekerja pada sistem tersebut. Dalam penelitian ini akan digunakan dua pemodelan beban ledakan setempat. Gambaran tentang perilaku ledakan menggunakan beban ledak 10 kg TNT, dengan grafik amplitudo terhadap durasi yang berturut-turut dengan nilai $P_{so} = 3888\text{N}$ dengan durasi $t_{total} = 0,311\text{s}$.

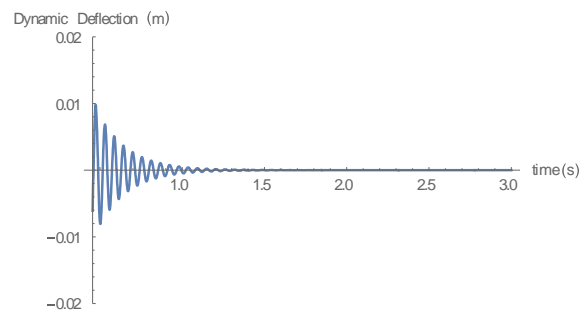
3. Hasil numerik dan diskusi

Perhitungan numerik dilakukan untuk berbagai parameter permasalahan dengan jumlah mode dalam arah x dan y diambil sebagai $m = 1, 2, \dots, 5$ and $n = 1, 2, \dots, 5$ yang mempertimbangkan konvergensi *eigenvalue*. Parameter pelat lantai adalah panjang pelat $a = 8$ m, lebar pelat $b = 5$ m, tebal pelat $h = 0,23$ m, menggunakan balok pengaku dengan ukuran 30×50 cm², dimana tinggi balok sudah termasuk tebal pelat lantai. Massa jenis untuk beton adalah 2400 kg/m³. Pelat bersifat

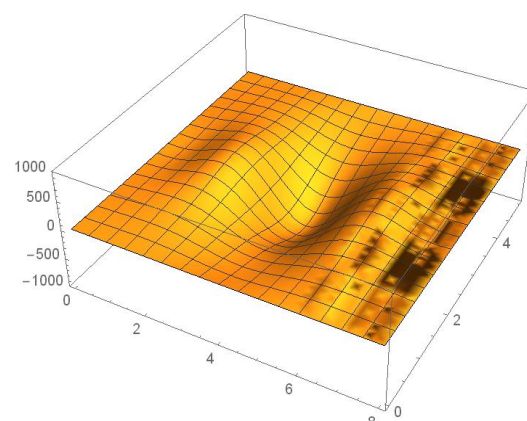
orthotropic maka nilai modulus elastisitas dan poisson rasio berbeda pada arah X dan Y, yaitu $E_{cx} = 23400$ MPa, $E_{cy} = 22200$ MPa (Shahsavari & Tofighi, 2014), $\nu_x = 0.2$ dan $\nu_y = 0.15$. Kekakuan rotasi mengambil referensi dari jurnal Gibigaye yaitu k_1 dan k_2 bernilai sama $1,0 \times 10^6$ N.m/rad (Gibigaye et al., 2018).



Gambar 4 Time history lendutan fase ledakan



Gambar 5 Time history lendutan fase *free vibration*

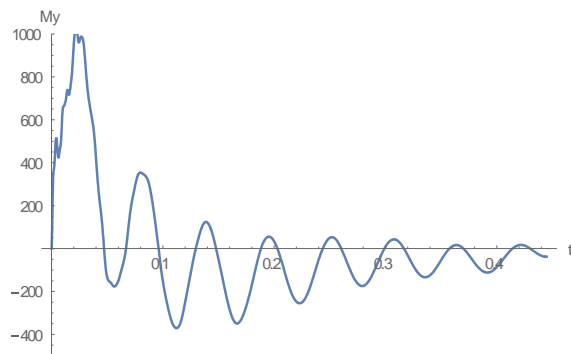


Gambar 6 lendutan maksimum fase ledakan

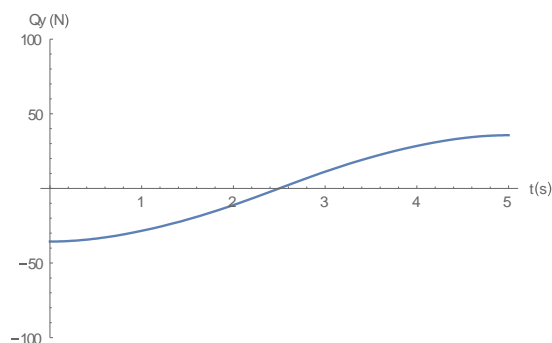
Berdasarkan SNI 2847:2013 bahwa syarat lendutan adalah $\delta \leq \frac{l}{360}$ dimana $l =$

8 m maka nilai lendutan maksimum adalah $\delta = 0.022$ m. Jika dilihat dari Gambar 5 dan 6 maka lendutan maksimum yang terjadi adalah -0.013 , sehingga masih memenuhi syarat lentur pelat akibat beban dinamik ledakan 10 kg TNT tersebut.

Faktor lendutan sangat berpengaruh pada besar momen dan gaya geser pada pelat yang terjadi. Momen dan geser ditinjau pada saat ledakan (fase 1), adalah momen dan geser pada kondisi maksimum dan minimum. Besaran momen dan geser yang diperoleh dari hasil analisis sebagai berikut:



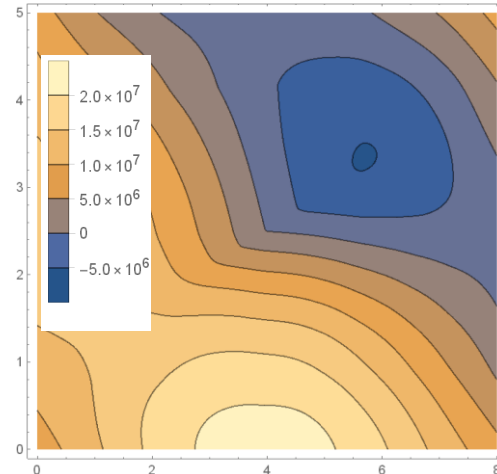
Gambar 7 Time history Momen arah Y



Gambar 8 Gaya geser pada tumpuan

Berdasarkan momen dan gaya geser tersebut maka momen absolut ditengah bentang maksimum terjadi pada fase ledakan sebesar 964,4 N.m yang terjadi pada sumbu arah Y. Sedangkan pada gaya geser pada tumpuan sebesar 35,68 N.

Pola kontur tegangan dari setiap fase beban menunjukkan bahwa posisi ledakan ditengah bentang sebagai berikut ini.



Gambar 9 Tegangan maksimum pada fase free vibration

Tegangan pada fase free vibration menghasilkan tegangan yang terbesar yaitu $2,5 \times 10^7$ N/m²

4. KESIMPULAN

Persamaan ledakan Reed 1977 pada kondisi satu satuan memiliki faktor error lebih besar dari Polinomial orde 4. Modifikasi Reed disempurnakan dengan persamaan polinomial orde 4. Error terhadap persamaan Friedlander adalah sebesar 1,64%. Dari pernyataan tersebut, perilaku dinamik pelat lantai orthotropic dengan ketebalan 23 cm dengan balok anak 30×50 cm² adalah memenuhi persyaratan lendutan yang distandarkan SNI 2847:2013. Lendutan terbesar adalah pada kondisi *free vibration*. Demikian juga setara dengan momen. Berbeda halnya gaya geser, bila momen yang mencapai absolut maksimum adalah pada tengah bentang, sedangkan geser berada di sepanjang sisi pelat dengan tumpuan *partial fixity*. Tegangan absolut yang ditinjau adalah sama dengan momen, sehingga maksimumpun berada pada tengah bentang pada waktu 0,3424s.

DAFTAR PUSTAKA

Alisjahbana, S. W., Alisjahbana, I., Gan, B. S., Safrilah, & Putra, J. C. P. (2019). Dynamic behaviour of stiffened orthotropic plates subjected

to Friedlander blast load. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 615(1).
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/615/1/012074>

Garces, M. (2019). Explosion Source Models. In *Infrasound Monitoring for Atmospheric Studies*. Springer International Publishing.
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-75140-5>

Gibigaye, M., Yabi, C. P., & Degan, G. (2018). Free vibration analysis of dowelled rectangular isotropic thin plate on a Modified Vlasov soil type by using discrete singular convolution method. *Applied Mathematical Modelling*, 61, 618–633.
<https://doi.org/10.1016/j.apm.2018.05.019>

Karlos, V., & Solomon, G. (2013). Calculation of blast loads for application to structural components. In *Publications Office of the European Union*.
<https://doi.org/10.2788/61866>

Rigby, S. E., Tyas, A., Bennett, T., Clarke, S. D., & Fay, S. D. (2014). The negative phase of the blast load. *International Journal of Protective Structures*, 5(1), 1–19.
<https://doi.org/10.1260/2041-4196.5.1.1>

Shahsavari, V. L., & Tofighi, S. (2014). Uncertainties Concerning the Free Vibration of Inhomogeneous Orthotropic Reinforced Concrete Plates. *Slovak Journal of Civil Engineering*, 22(3), 21–30.
<https://doi.org/10.2478/sjce-2014-0014>