

STUDI NUMERIK PELAT PERKERASAN ISOTROPIK JALAN RAYA DIATAS PONDASI ELASTIK WINKLER AKIBAT KECEPATAN BEBAN BERJALAN

Rizki Nur Zuraida^{1*}, Haryo Koco Buwono²

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

*Email : nurrizkizuraida@gmail.com

ABSTRAK

Pelat adalah struktur planar kaku yang secara khas terbuat dari material monolit yang tingginya kecil dibandingkan dengan dimensi-dimensi lainnya. Dalam dunia teknik sipil ada 2 jenis pelat yaitu pelat orthotropik dan pelat isotropik. Penelitian yang akan dilakukan adalah menghitung secara numerik pelat isotropik bertumpu pada pondasi elastis winkler yang diakibatkan oleh kecepatan beban berjalan yang berpengaruh terhadap ketebalan pelat dan defleksi serta *time history*. Parameter pelat dengan ketebalan bervariasi, dimensi pelat ukuran 5 x 5 m, modulus kekakuan pondasi winkler 1.662×10^8 N/m, beban truk 25 ton, kecepatan kendaraan sebesar 60 km/jam, 70 km/jam, 80 km/jam serta dengan frekuensi sudut, rasio redaman dan parameter lain yang sudah ditentukan. Perhitungan numerik ini menggunakan program *Mathematica Wolfram* versi Student 11.0. Perhitungan dilakukan menggunakan solusi persamaan homogen dan partikuler. Respon yang terjadi pada pelat isotropik yang bertumpu pada pondasi elastis yaitu respon dinamis yang diakibatkan oleh beban kendaraan truk yang bergerak menimbulkan frekuensi alami pelat isotropik bertambah besar dengan harga mode m dan n yang bertambah besar. Pelat isotropik dengan ketebalan bervariasi menghasilkan defleksi yang kecil dengan ketebalan semakin besar sedangkan defleksi besar apabila ketebalan semakin kecil. Pengaruh pelat isotropik kecepatan 60 km/jam, 70 km/jam, 80 km/jam menunjukkan hasil grafik yang tidak linier untuk defleksi sedangkan untuk kecepatan yang semakin besar dapat memperkecil *time history*.

Kata kunci : Pondasi elastis winkler, pelat isotropik, beban kendaraan

ABSTRACT

Plates are rigid planar structures typically made of monolithic material that is of little height compared to other dimensions. In the civil engineering world there are 2 types of plates namely orthotropic plate and isotropic plate. The research that will be done is numerically calculating the isotropic plate resting on the elastic foundation of winkler caused by the speed of running load which influence on plate thickness and deflection and time history. Parameters of plate with varying thickness, dimension of plate size 5 x 5 m, modulus stiffness foundation winkler 1.662×10^8 N/m, 25 ton truck load, vehicle speed 60 km/h, 70 km/h, 80 km/h, damping ratio and other specified parameters. This numerical calculation uses the program Mathematica Wolfram Student version 11.0. The calculations were performed using homogeneous and particular solutions of equations. The response that occurs on the isotropic plate is based on the elastic foundation that is the dynamic response caused by the burden of the moving truck vehicle causing the natural frequency of isotropic plate to increase with the price of m and n mode which is getting bigger. The isotropic plate with varying thickness results in a smaller deflection with greater thickness while large deflections when the thickness becomes smaller. The effect of isotropic plate speed of 60 km/h, 70 km/h, 80 km/h shows the nonlinear graphic result for deflection while for the bigger speed can decrease the time history.

Keywords : Winkler elastic foundation, isotropic plate, vehicle load

PENDAHULUAN

Pelat adalah struktur planar kaku yang secara khas terbuat dari material monolit yang tingginya kecil dibandingkan dengan dimensi-dimensi lainnya. Beban umum bekerja pada pelat mempunyai sifat banyak arah dan tersebar. Kondisi tumpuan dapat berupa

tumpuan sendi, rol dan jepit. Adanya kemungkinan variasi kondisi tumpuan menyebabkan pelat dapat digunakan untuk berbagai keadaan. Bahan material yang digunakan yaitu beton tanpa tulangan, beton bertulang, baja pelat non profil, baja cold formed, dan lain-lain.

Dalam dunia teknik sipil ada 2 jenis pelat yaitu pelat orthotropik dan pelat isotropik. Pelat ortotropik merupakan pelat yang memiliki modulus elastisitas yang berbeda sedangkan pelat isotropik memiliki modulus elastisitas yang sama.

Berdasarkan penelitian Y. Kumar (2013) menyatakan bahwa dengan menggunakan persamaan diferensial untuk menghitung getaran bebas pelat isotropik dengan tiga kombinasi batas yaitu hanya di dukung, dijepit, dan bebas telah diselesaikan dan mendapatkan frekuensi alami. Kemudian berdasarkan penelitian Gaurav Watts, M.K.Singha, dan S.Pradyumma (2015) Studi numerik meliputi pengaruh kondisi pembebanan yang berbeda, kondisi batas dan modulus tanah dasar pada defleksi maksimum. Hal ini diamati dari hasil bahwa metode ini akurat dan dapat diandalkan untuk memecahkan masalah nonlinier yang kompleks. Dari studi parametrik terbatas, teramati bahwa deformasi pelat dan kompresi dari pondasi elastis (penyelesaian pondasi) lebih terlokalisasi di dekat wilayah dimuat untuk nilai yang lebih tinggi dari modulus tanah dasar dan plat tebal.

Dari hasil penelitian tersebut maka penelitian yang akan dilakukan adalah menghitung secara numerik pelat isotropik yang diakibatkan oleh kecepatan beban berjalan yang berpengaruh terhadap ketebalan pelat, defleksi, dan time history.

RUMUSAN MASALAH

1. Apa respon yang terjadi terhadap pelat isotropik akibat kecepatan kendaraan?
2. Apa kecepatan kendaraan mempengaruhi terhadap defleksi dan *time history* pelat isotropik?
3. Apa ketebalan pelat mempengaruhi terhadap defleksi dan *time history* pelat isotropik?

MAKSUD DAN TUJUAN

1. Untuk mendapatkan respon dinamis pelat terhadap kecepatan beban berjalan.
2. Untuk mengetahui kecepatan yang paling efektif terhadap ketebalan pelat.
3. Untuk mengetahui kecepatan yang paling efektif terhadap defleksi dan *time history*.

$$D\nabla^4 w + \rho h \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + \gamma h \frac{\partial w}{\partial t} + kw + N \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) = p(x, y, t)$$

LANDASAN TEORI

Pelat merupakan struktur bidang (permukaan) yang lurus, (datar atau tidak melengkung) yang tebalnya jauh lebih kecil disbanding dengan dimensinya yang lain. Geometri suatu pelat bisa dibatasi oleh garis lurus atau garis lengkung. Ditinjau dari segi statika, kondisi tepi (*boundary condition*) pelat bisa bebas (*free*), bertumpuan sederhana (*simply supported*) dan jepit, termasuk tumpuan elastis dan jepit/pengekang (*restraint*) elastis, atau dalam beberapa hal bisa berupa tumpuan titik/terpusat. Beban statis atau dinamis yang dipikul oleh pelat umumnya tegak lurus permukaan pelat.

Pelat isotropik merupakan pelat yang memiliki sifat elastis bahan yang sama di segala arah atau yang memiliki kekakuan lentur yang sama di segala arah.

Model Winkler merupakan Salah satu metode yang sangat populer untuk memodelkan interaksi tanah struktur memiliki asal usul kerja yang dilakukan oleh Winkler pada tahun 1867, di mana terjemahan vertikal tanah adalah w , pada suatu titik diasumsikan hanya tergantung pada tekanan kontak adalah p , bertindak pada saat itu di pondasi elastis ideal dan proporsional konstan adalah k . Penerapan model Winkler melibatkan solusi dari orde diferensial persamaan. Untuk pelat persamaan harus dipecahkan adalah dalam bentuk

$$D\nabla^4 w + kw = q$$

Dimana,

D = pelat lentur kekakuan

k = modulus reaksi tanah dasar

q = terdistribusi merata beban di pelat

Model ini terdiri dari spring elastis linear dengan kekakuan " k ," ditempatkan di berlainan interval bawah pelat, di mana k adalah modulus reaksi tanah dasar tanah. Model ini juga sering disebut sebagai "model satu parameter".

Persamaan gerak pelat secara umum data ditulis dalam bentuk :

Dengan menggunakan hubungan antara konstante pemisah α dengan waktu getar alami

system (ω_{mn}), persamaan yang dapat dinyatakan sebagai

$$\omega_{mn}^2 = \frac{D}{\rho h} \pi^4 \left[\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right] \left[\left[\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right] - \frac{N}{N_{cr}} \left[\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} \right] \right] + \frac{k_1}{\rho h}$$

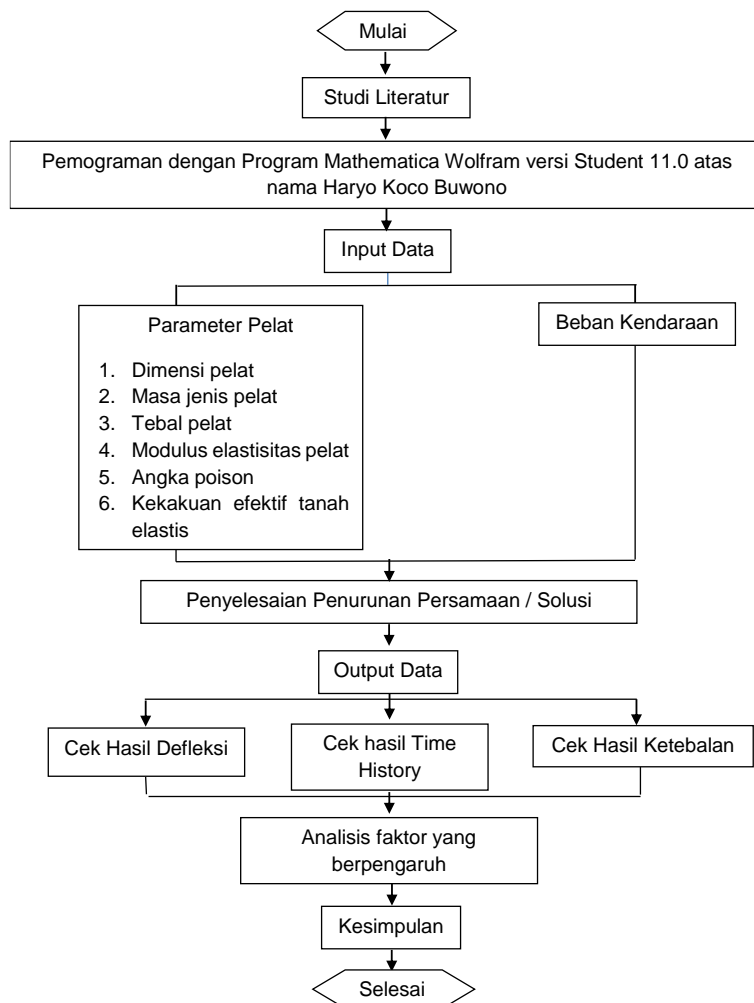
Dengan menggunakan fungsi Green untuk fungsi teredam sesuai dengan persamaan

berikut, solusi partikuler $T^*_{mn}(t)$ dapat dinyatakan sebagai

$$T^*_{mn}(t) = \int_0^t \left[\frac{p(x,y,t)}{\rho h Q_{mn}} \int_0^a X_m(x) dx \int_0^b Y_n(y) dy [G(t-\tau)] \right] d\tau$$

$$= \int_0^t \left[\frac{p(x,y,t)}{\rho h Q_{mn}} \int_0^a X_m(x) dx \int_0^b Y_n(y) dy \right] \left[\frac{e^{-\bar{\gamma}\omega_{mn}t}}{\sqrt{1-\bar{\gamma}^2\omega_{mn}^2}} \sin \sqrt{1-\bar{\gamma}^2\omega_{mn}^2} \right] d\tau$$

METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 1. Diagram alir

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data pelat yang digunakan dalam Tugas Akhir ini dapat dilihat pada tabel dibawah ini :
Data pelat isotropik dan pembebanannya.

No	Data	Simbol	Besaran
1	Panjang perkerasan di arah x	a	5 m
2	Panjang perkerasan di arah x	b	5 m
3	Tebal perkerasan	h	10 cm ; 12 cm ; 14 cm ; 16 cm ; 18 cm
4	Modulus kekakuan pondasi winkler	k1	1.662 x 10 ⁸ N/m
5	Faktor redaman	γ	5 %
6	Massa jenis perkerasan	ρ	2400 kg/m ³
7	Modulus elastisitas	E	21.4 x 10 ⁹

	arah x dan y		
8	Poison ratio arah x dan y	ν	0.2
9	Beban truk	P	25 ton
10	Kecepatan truk	v	60 km/jam ; 70 km/jam ; 80 km/jam ;
11	Frekuensi sudut beban	ω	50 rad/det
12	N/Ncr		0.25

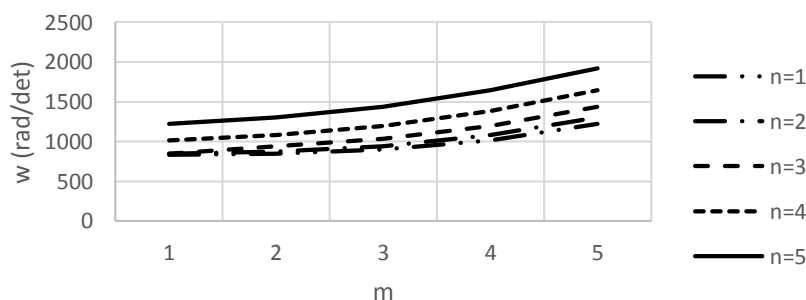
FREKUENSI ALAMI PELAT ISOTROPIK YANG BERTUMPU PADA PONDASI WINKLER

Pengaruh dari nilai kekakuan pondasi winkler terhadap pelat isotropik menggunakan persamaan berikut dengan mode m arah x dan mode n arah y dapat dilihat pada tabel dan grafik berikut :

$$\omega_{mn}^2 = \frac{D}{\rho h} \pi^4 \left[\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right] \left[\left[\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right] - \frac{N}{N_{cr}} \left[\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} \right] \right] + \frac{k_1}{\rho h}$$

Tabel.1 Frekuensi alami pelat dengan berbagai harga mode m dan n untuk k = 1.662 x 10⁸, N/Ncr = 0.25, h = 10 cm.

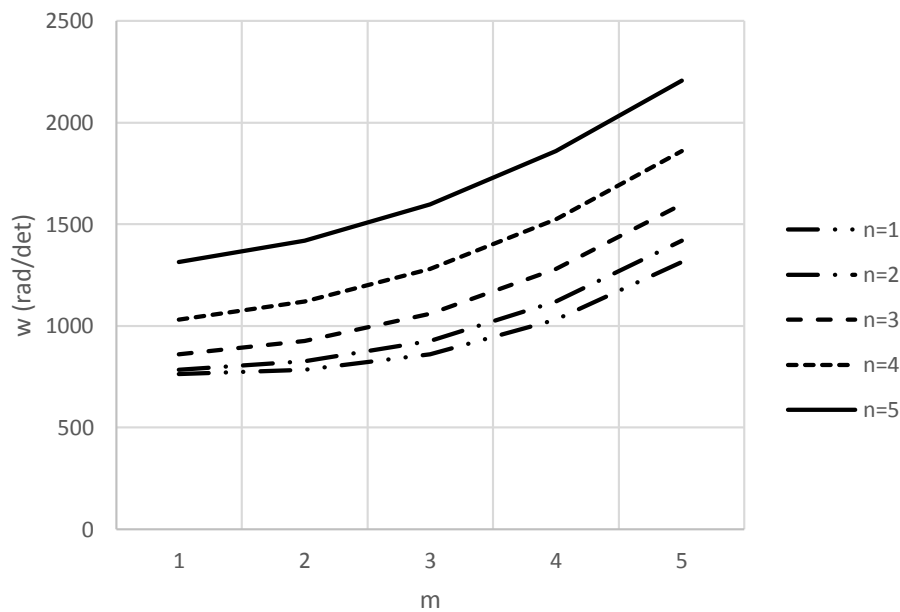
n	ω _{mn} (rad/det)				
	m = 1	m = 2	m = 3	m = 4	m = 5
1	834.337	848.318	898.389	1015.32	1221.6
2	848.318	874.574	942.619	1078.41	1299.82
3	848.318	942.619	1035.61	1196.4	1437.54
4	1015.32	1078.41	1196.4	1381.48	1641.84
5	1221.6	1299.82	1437.54	1641.84	1917.86



Gambar 2. Grafik Frekuensi alami pelat dengan berbagai harga mode m dan n untuk $k = 1.662 \times 10^8$, $N/N_{cr} = 0.25$, $h = 10$ cm.

Tabel 2. Frekuensi alami pelat dengan berbagai harga mode m dan n untuk $k = 1.662 \times 10^8$, $N/N_{cr} = 0.25$, $h = 12$ cm.

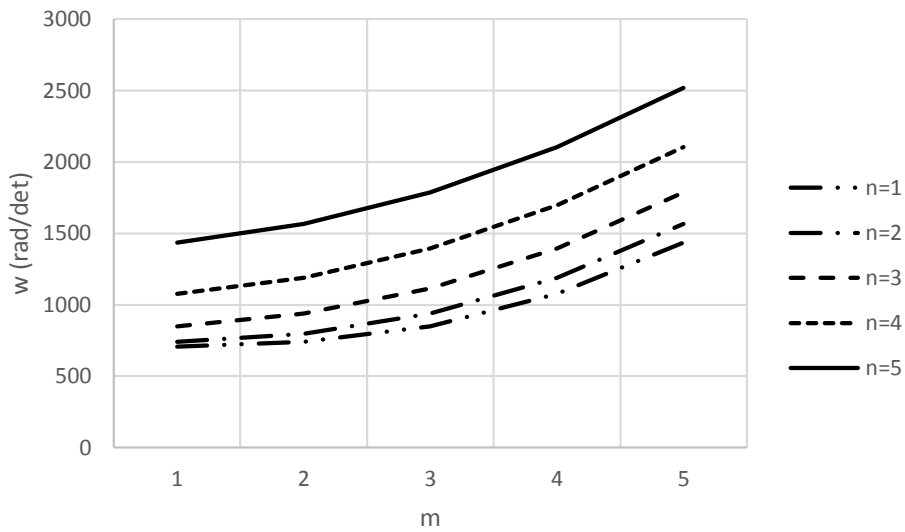
n	ω_{mn} (rad/det)				
	m = 1	m = 2	m = 3	m = 4	m = 5
1	763.082	784.964	861.458	1031.67	1314.84
2	784.964	825.416	927.02	1120.07	1418.74
3	861.458	927.02	1060.32	1281.04	1598.65
4	1031.67	1120.07	1281.04	1525.81	1860.53
5	1314.84	1418.74	1598.65	1860.53	2208.27



Gambar 3. Frekuensi alami pelat dengan berbagai harga mode m dan n untuk $k = 1.662 \times 10^8$, $N/N_{cr} = 0.25$, $h = 12$ cm.

Tabel 3. Frekuensi alami pelat dengan berbagai harga mode m dan n untuk $k = 1.662 \times 10^8$, $N/N_{cr} = 0.25$, $h = 14$ cm.

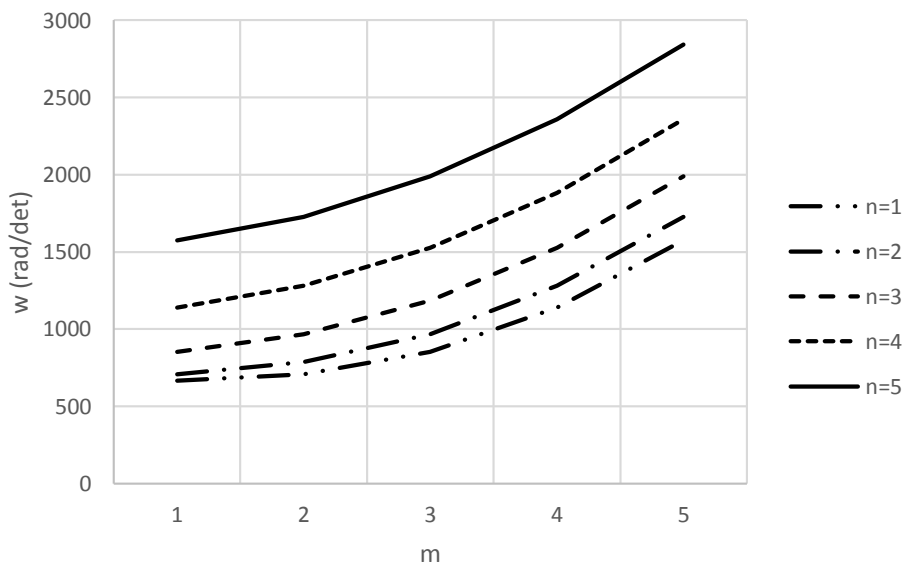
n	ω_{mn} (rad/det)				
	m = 1	m = 2	m = 3	m = 4	m = 5
1	708.333	740.164	848.094	1076.04	1436.06
2	740.164	797.815	937.476	1190.28	1564.88
3	848.094	937.476	1113.3	1393.86	1785.42
4	1076.04	1190.28	1393.86	1696.46	2102.56
5	1436.06	1564.88	1785.42	2102.56	2519.25



Gambar 4. Grafik Frekuensi alami pelat dengan berbagai harga mode m dan n untuk $k = 1.662 \times 10^8$, $N/N_{cr} = 0.25$, $h = 14$ cm.

Tabel 4. Frekuensi alami pelat dengan berbagai harga mode m dan n untuk $k = 1.662 \times 10^8$, $N/N_{cr} = 0.25$, $h = 16$ cm.

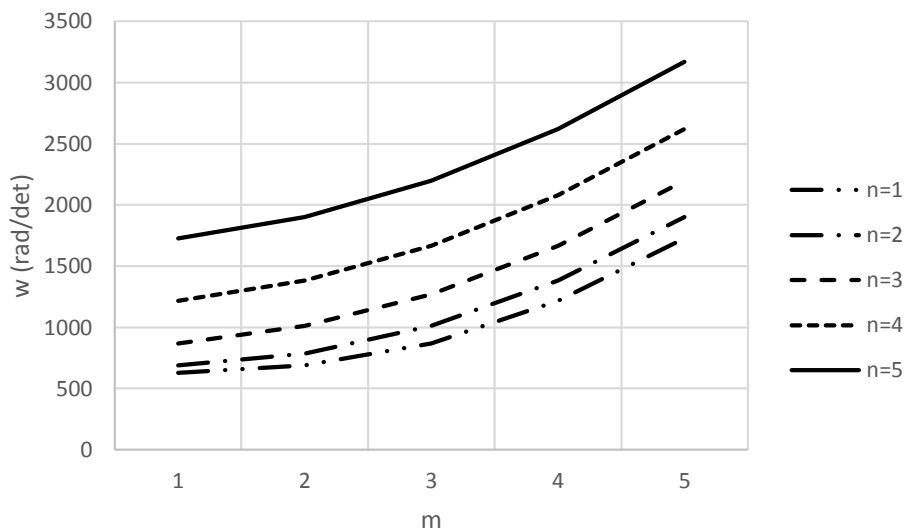
n	ω_{mn} (rad/det)				
	m = 1	m = 2	m = 3	m = 4	m = 5
1	664.889	708.73	852.17	1139.76	1574.9
2	708.73	786.197	966.773	1279.54	1727.78
3	852.17	966.773	1185.58	1524.58	1987.54
4	1139.76	1279.54	1524.58	1883.02	2358.14
5	1574.9	1727.78	1987.54	2358.14	2841.86



Gambar 5. Grafik Frekuensi alami pelat dengan berbagai harga mode m dan n untuk $k = 1.662 \times 10^8$, $N/N_{cr} = 0.25$, $h = 16$ cm.

Tabel 5. Frekuensi alami pelat dengan berbagai harga mode m dan n untuk $k = 1.662 \times 10^8$, $N/Ncr = 0.25$, $h = 18$ cm.

n	ω_{mn} (rad/det)				
	m = 1	m = 2	m = 3	m = 4	m = 5
1	629.641	687.506	869.502	1216.99	1725.13
2	687.506	786.915	1009.88	1381.68	1901.35
3	869.502	1009.88	1271.19	1666.94	2199.22
4	1216.99	1381.68	1666.94	2079.55	2621.99
5	1725.13	1901.35	2199.22	2621.99	3171.49



Gambar 6. Grafik Frekuensi alami pelat dengan berbagai harga mode m dan n untuk $k = 1.662 \times 10^8$, $N/Ncr = 0.25$, $h = 18$ cm.

**RESPON DINAMIK PELAT ISOTROPIK
AKIBAT BEBAN TRUK YANG BEKERJA
DI TENGAH BENTANG**

Respon dinamis dari pelat isotropik di peroleh dengan menggambarkan kurva dan defleksi total maksimum tersebut dengan parameter kecepatan truk dan tebal pelat yang bervariasi menggunakan persamaan.

$$T^*_{mn}(t) = \int_0^t \left[\frac{p(x,y,t)}{\rho h Q_{mn}} \int_0^a X_m(x) dx \int_0^b Y_m(x) dy [G(t - \tau)] \right] d\tau$$

$$= \int_0^t \left[\frac{p(x,y,t)}{\rho h Q_{mn}} \int_0^a X_m(x) dx \int_0^b Y_m(x) dy \left[\frac{e^{-\bar{\gamma} \omega_{mn} t}}{\sqrt{1 - \bar{\gamma}^2 \omega_{mn}^2}} \sin \sqrt{1 - \bar{\gamma}^2 \omega_{mn}^2} \right] \right] d\tau$$

Tabel 6. Defleksi maksimum pelat isotropik akibat beban bergerak dengan parameter $k = 1.662 \times 10^8$, $N/Ncr = 0.25$, $v = 60$ km/jam.

No	Tebal pelat (cm)	W_{maks} (m)
1	10	0.0148762
2	12	0.0133714
3	14	0.0120173
4	16	0.0108344
5	18	0.00980769

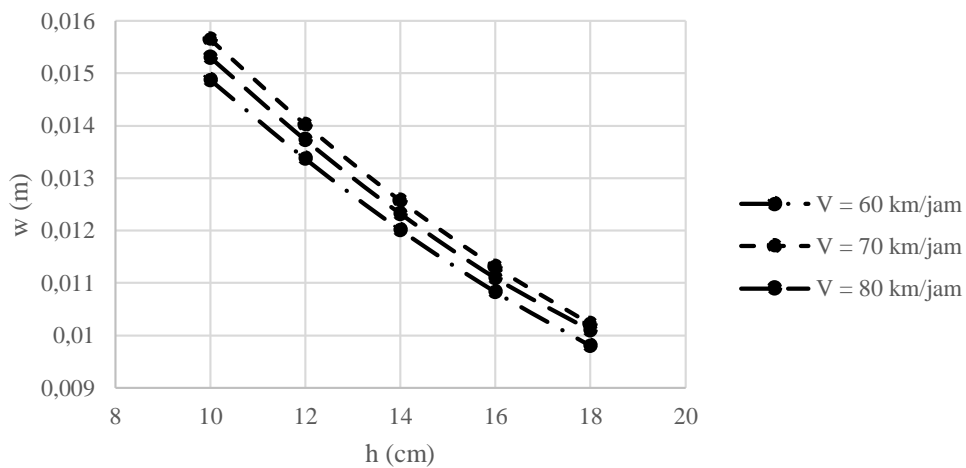
Tabel 7. Defleksi maksimum pelat isotropik akibat beban bergerak dengan parameter $k = 1.662 \times 10^8$, $N/N_{cr} = 0.25$, $v = 70$ km/jam.

No	Tebal pelat (cm)	W_{maks} (m)
1	10	0.015641
2	12	0.0140191
3	14	0.012569
4	16	0.0113062
5	18	0.0102211

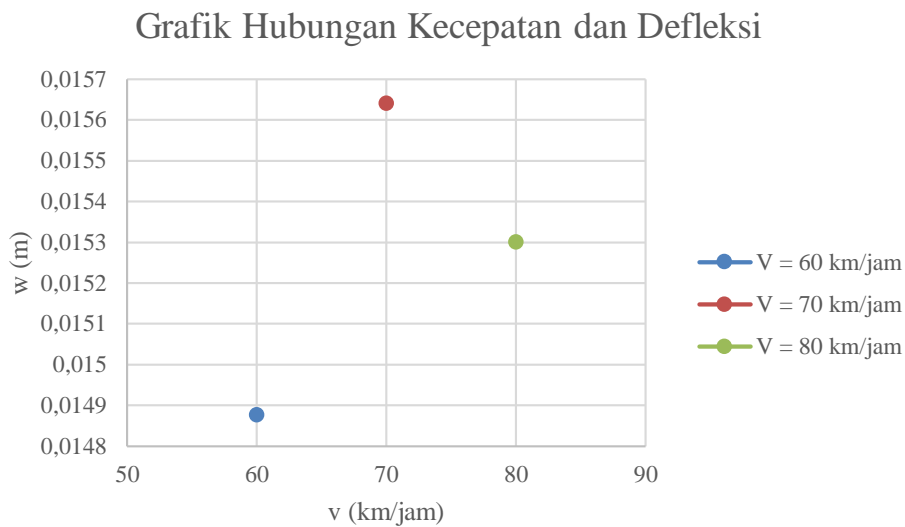
Tabel 8. Defleksi maksimum pelat isotropik akibat beban bergerak dengan parameter $k = 1.662 \times 10^8$, $N/N_{cr} = 0.25$, $v = 80$ km/jam.

No	Tebal pelat (cm)	W_{maks} (m)
1	10	0.0153007
2	12	0.0137297
3	14	0.0123214
4	16	0.0110949
5	18	0.0100955817

Grafik Hubungan Tebal dan Defleksi



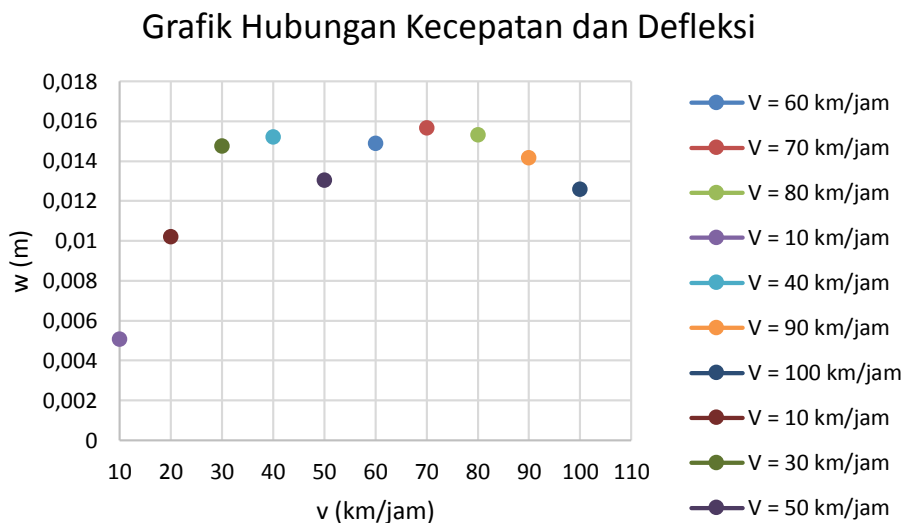
Gambar 7. Grafik Hubungan Tebal dan Defleksi



Gambar 8. Grafik Hubungan Kecepatan dan Defleksi

Berdasarkan hasil grafik 5.3.17 maka diperiksa kembali menggunakan kecepatan dengan interval 10 agar lebih terlihat pengaruh

kecepatan terhadap defleksi pada pelat isotropik.



Gambar 9. Grafik Hubungan Kecepatan dan Defleksi

KESIMPULAN

Respon yang terjadi pada pelat isotropik yang bertumpu pada pondasi elastis yaitu respon dinamis yang diakibatkan oleh beban kendaraan truk yang bergerak menimbulkan frekuensi alami pelat isotropik bertambah besar dengan harga mode m dan n yang bertambah besar.

Sebuah pelat isotropik dengan ketebalan bervariasi dengan dibebani oleh kendaraan truk sebesar 25 ton menghasilkan defleksi yang

kecil dengan ketebalan semakin besar sedangkan defleksi besar apabila ketebalan semakin kecil.

Sebuah kendaraan truk sebesar 25 ton bergerak dengan kecepatan 60 km/jam, 70 km/jam, 80 km/jam berpengaruh terhadap defleksi dan time history, namun dari hasil grafik menunjukkan hasil yang tidak linier untuk defleksi sedangkan untuk kecepatan yang semakin besar dapat memperkecil *time history*.

DAFTAR PUSTAKA

- Alisjahbana S.W (2002). *“Dinamika Struktur Pelat”*. Jurusan Teknik Sipil Universitas Tarumanagara.
- Alisjahbana S.W (2011). *“Dinamika Struktur Pelat II”*. Jurusan Teknik Sipil Universitas Bakrie.
- Badan Standarisasi Nasional. (1989). *“Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung : SNI 1727:1989”*, Jakarta, Indonesia.
- Kumar, Y. (2013) *“Free Vibration Analysis Of Isotropic Rectangular Plates On Winkler Foundation Using Differential Transform Method”*. Volume 18 No. 2. Int. J. of Applied Mechanics and Engineering.
- Nur Fithrah Oscar , Hakam Abdul (2010) *“Analisa Stabilitas Dinding Penahan Tanah (Retaining Wall) Akibat Beban Dinamis Dengan Simulasi Numerik”*. Volume 6 No. 2. Jurnal Rekayasa Sipil
- Straughan Thomas Willliam. B.S. in Ind. Mgt., M.S. in Engr. (1990) *“Analysis Of Plates On Elastic Foundations”*. Texas Tech University.
- Sayyada A. S., Ghugalb Y. M. (2012) *“Bending and free vibration analysis of thick isotropic plates by using exponential shear deformation theory”*. Applied and Computational Mechanics.
- Szilarud Rudolph (1974). *“Teori Dan Analisis Pelat Metode Klasik Dan Numerik”*. Jakarta, Erlangga
- Sofia W. Alisjabana, Wiratman Wangsadinata, and Irene Alisjabana. (2016) *“The Dynamic Response of Orthotropic Plates to Localized Stepped Triangular Blast Load”*. ICPS4 - 2016.
- Watts Gaurav, Singha M. K., and Pradyumna S. (2015) *“Nonlinear Bending Analysis of Isotropic Plates Supported on Winkler Foundation Using Element Free Galerkin Method”*. Volume 4 No. 4. International Journal of Structural and Civil Engineering Research.