

Analisis Lendutan Perkerasan Kaku Pada Tanah Lempung Menggunakan Metode Elemen Hingga

Athaya Zhafirah

Institut Teknologi Garut Jalan Mayor Syamsu No. 1 Jayaraga Garut 44151

Email: athaya@itg.ac.id

DOI: <http://dx.doi.org/10.29103/tj.v12i2.741>

(Received: March 2022 / Revised: July 2022 / Accepted: August 2022)

Abstrak

Perkerasan kaku menjadi struktur perkerasan yang banyak digunakan di atas tanah dasar dengan daya dukung rendah dikarenakan konstruksi dari perkerasan kaku memiliki sifat kekakuan yang mampu menahan beban roda kendaraan dan meneruskan secara lebih luas ke tanah dasar. Analisis lendutan yang terjadi akibat beban yang bekerja perlu dilakukan agar tidak melampaui persyaratan lendutan izin. Hal tersebut dikarenakan lendutan yang terjadi dapat mempengaruhi stabilitas struktur, kinerja dari perkerasan kaku, dan umur rencana jalan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui lendutan pada perkerasan kaku dengan variasi tebal pelat dan variasi posisi pembebanan. Metode penelitian ini menggunakan analisis metode elemen hingga. Variasi tebal pelat yang digunakan adalah 150 mm; 200 mm; 250 mm; 300 mm; dan 350 mm dengan posisi pembebanan tengah, ujung, dan tepi. Lendutan perkerasan untuk pembebanan tengah dan pembebanan tepi memenuhi persyaratan lendutan izin, sedangkan untuk pembebanan ujung hanya tebal pelat 150 mm saja yang memenuhi persyaratan lendutan izin. Hal tersebut dapat diakibatkan oleh daya dukung tanah yang rendah. Tebal pelat berpengaruh pada nilai lendutan; semakin tebal pelat, kekakuan pelat semakin tinggi maka nilai lendutan akan semakin kecil.

Kata kunci: *lendutan, metode elemen hingga, perkerasan kaku, tanah lempung*

Abstract

Rigid pavement is widely used on low bearing capacity subgrade because the construction has a rigidity that can withstand vehicle wheel loads and transmit more widely to the subgrade. The analysis of the deflection that occurs due to the load needs to be carried out so that it does not exceed the permit deflection requirements because the deflection can affect the stability of the structure, the performance of rigid pavement, and the design life of the road. The purpose of this study was to determine the deflection of rigid pavement with variations in plate thickness and variations in loading positions. This research method uses the finite element method. The variation of plate thickness used is 150 mm; 200 mm; 250 mm; 300 mm; and 350 mm with center, end, and edge loading positions. Pavement deflection for center loading and edge loading meets the permit deflection requirements, while for end loading, only 150 mm thick slabs meet the permit deflection requirements. That can be caused by the low bearing capacity of the soil. Plate thickness is influential on the deflection; the thicker the plate, the higher the stiffness of the plate, the smaller the deflection will be.

Keywords: *deflection, finite element method, rigid pavement, clay*

1. Latar Belakang

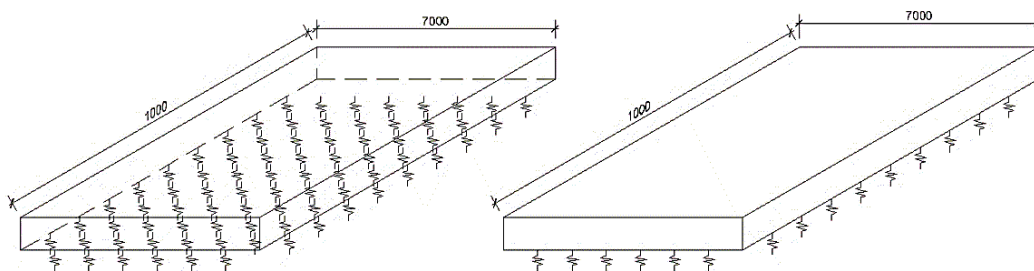
Perkerasan kaku merupakan jenis struktur perkerasan yang banyak digunakan apabila tanah dasarnya memiliki daya dukung rendah (Utomo, Surjandari and Yulianto, 2017; Yasir, Surjandari and Purwana, 2017; Rachardi and Kurniawan, 2019; Zhafirah *et al.*, 2019). Sekitar 30% total luas daratan di Indonesia memiliki karakteristik tanah dasar dengan daya dukung rendah (Situmorang, Anon and Rochim, 2020).

Konstruksi dari perkerasan kaku memiliki sifat kekakuan yang mampu menahan beban roda kendaraan dan meneruskan tegangan beban roda melalui area yang lebih luas ke tanah dasar (Sentosa and Roza, 2012; ., 2015). Namun, meskipun perkerasan kaku cocok dibangun di atas tanah dasar yang daya dukungnya rendah, perlu dilakukan analisis lendutan akibat beban yang bekerja karena lendutan yang terjadi mempengaruhi stabilitas struktur apabila nilai lendutan melebihi persyaratan yang diizinkan, sehingga akan berdampak ke depannya pada penurunan kinerja perkerasan dan mempengaruhi umur rencana jalan. Analisis lendutan pada perkerasan kaku dapat dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga. Metode elemen hingga merupakan salah satu cara yang cocok digunakan untuk menganalisis lendutan perkerasan kaku (Patil, Sawant and Deb, 2013; Alisjahbana *et al.*, 2019) karena memiliki grafis yang kuat, kapabilitas yang tinggi, fungsionalitas otomatis, dan lebih mudah digunakan (Khan, Khan and Yadav, 2021).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai lendutan yang terjadi pada bagian tengah, ujung, dan tepi pada perkerasan kaku yang dibangun di atas tanah lempung lunak yang umumnya memiliki daya dukung rendah dengan variasi ketebalan pelat dan posisi pembebanan.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah deskriptif kuantitatif. Tahapan penelitian yang dilakukan yaitu pengumpulan data-data yang digunakan terdiri dari parameter tanah (tahanan konus, angka pori, dan rasio *poisson*), dimensi perkerasan kaku (panjang, lebar, dan tebal), parameter beton perkerasan kaku (kuat tekan beton dan modulus elastisitas beton), dan parameter beban (beban kendaraan). Setelah data didapatkan Langkah selanjutnya adalah melakukan *input* data ke dalam program ETABS 2016. Analisis lendutan pada perkerasan kaku dilakukan dengan variasi tebal perkerasan kaku dan letak pembebanan. Luaran yang didapatkan yaitu nilai lendutan perkerasan kaku untuk setiap variasi penelitian.

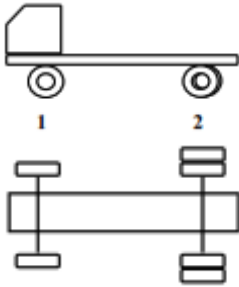


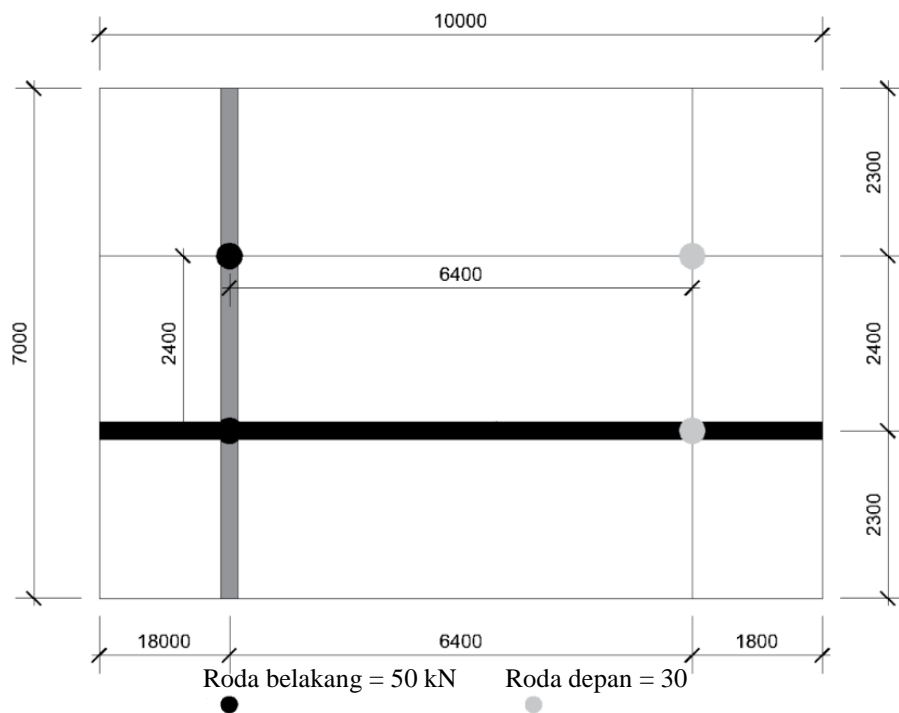
Gambar 1 Pemodelan struktur perkerasan kaku

Perkerasan kaku dimodelkan pelat berukuran panjang 10 m dan lebar 7 m dengan variasi tebal pelat 150 mm; 200 mm; 250 mm; 300 mm; dan 350 mm yang dimodelkan sebagai elemen *shell*. Beton yang digunakan untuk perkerasan kaku adalah beton kelas P (K450) dengan kuat tekan beton 37,35 MPa dan modulus elastisitas beton 28.723,88 MPa. Pemodelan struktur perkerasan kaku dapat diperlihatkan pada Gambar 1.

Beban kendaraan pada perkerasan kaku dimodelkan matematis sebagai beban statis berdasarkan kontak beban terhadap ban kendaraan. Perkerasan kaku ditempatkan untuk jalan kelas I dengan muatan sumbu terberat (MST) sebesar 10 ton. Jarak antara roda depan dengan roda belakang adalah 6,4 mm dan jarak antara roda kanan dan kiri adalah 2,4 mm. Hubungan konfigurasi sumbu kendaraan, kelas jalan, dan MST dapat dilihat Pada Tabel 1.

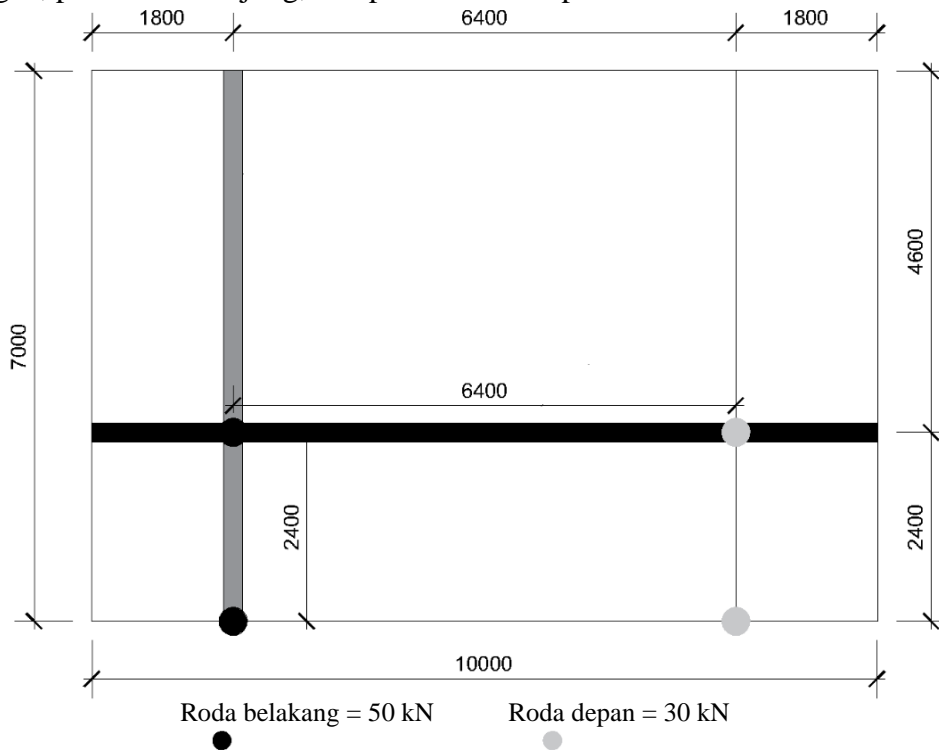
Tabel 1 Hubungan konfigurasi sumbu kendaraan, kelas jalan, dan MST

Konfigurasi Sumbu Kendaraan	Gambar Konfigurasi Sumbu Kendaraan	Kelas Jalan	MST Sumbu 1	MST Sumbu 2
1.2		I	6 T	10 T

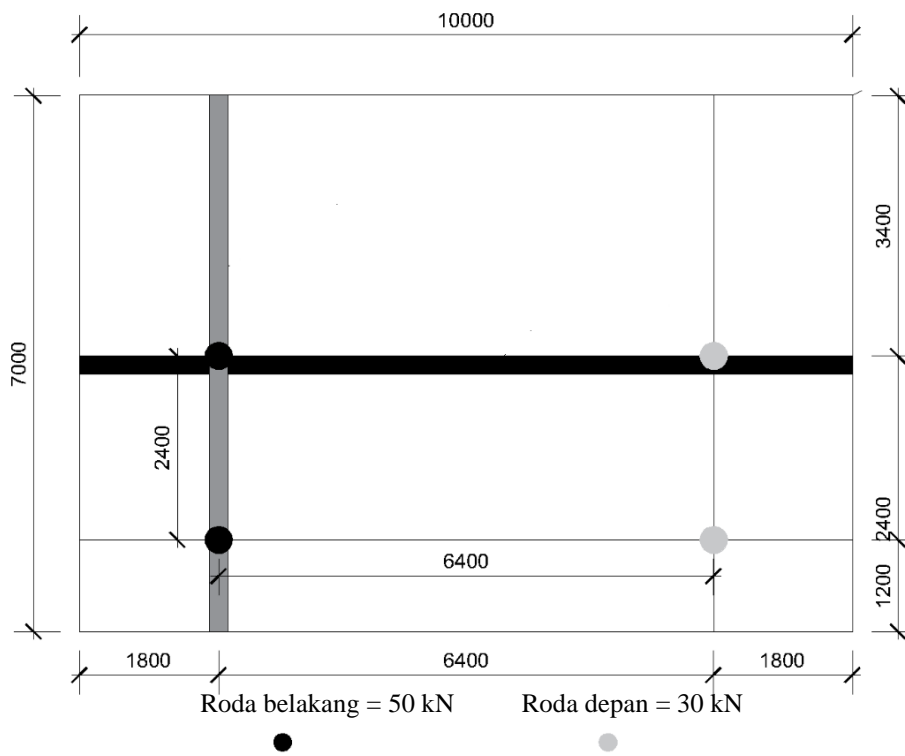


Gambar 2 Posisi pembebanan beban tengah

Ilustrasi letak beban pada pelat perkerasan kaku dapat dilihat pada Gambar 2, Gambar 3 dan Gambar 4. Beban diletakkan di 3 (tiga) posisi, yaitu pembebanan tengah, pembebanan ujung, dan pembebanan tepi.



Gambar 3 Posisi pembebanan beban ujung



Gambar 4 Posisi pembebanan beban tepi

Gambar 2 merupakan ilustrasi model pembebanan tengah terletak tepat di tengah pelat, Gambar 3 ilustrasi model pembebanan ujung terletak tepat di ujung dari pelat, sedangkan Gambar 4 ilustrasi model pembebanan tepi berjarak setengah dari jarak roda kanan dan kiri yaitu 1200 mm. Dimensi pelat perkerasan kaku adalah panjang 10000 mm, lebar 7000 mm, dan tebal yang bervariasi (150 mm; 200 mm; 250 mm; 300 mm; dan 350 mm). Jarak antara roda depan dengan roda belakang adalah 6400 mm dan jarak antara roda kanan dan kiri adalah 2400 mm. Beban untuk roda depan 50 kN dan beban untuk roda belakang 30 kN.

Parameter tanah dasar yang digunakan adalah tahanan konus 784,53 kPa; angka pori 1,346; dan rasio *poisson* 0,4. Jenis tanah dasar pada penelitian ini adalah lempung lunak, menurut AASHTO (*American Association of State Highway and Transporting Official*) termasuk ke dalam kelompok A-7-5(41) dan menurut USCS (*Unified Soil Classification System*) adalah CH (*clay high plasticity*) (Zhafirah, 2020). Tanah dasar pada metode elemen hingga dimodelkan sebagai *spring* dengan menggunakan nilai modulus reaksi tanah dasar yang didapatkan berdasarkan FEMA 356 pada persamaan (1) yaitu 22.419,21 kN/m²/m.

$$k = \frac{G \cdot B}{1 - \nu} \left[1,55 \left(\frac{L}{B} \right)^{0,75} + 0,8 \right] \quad (1)$$

$$G = \frac{406 \cdot q_c^{0,696}}{e^{1,13}} \quad (2)$$

Keterangan

k = modulus reaksi tanah dasar (kN/m²/m)

G = modulus geser (kPa)

q_c = tahanan konus (kPa)

e = angka pori

ν = rasio *poisson*

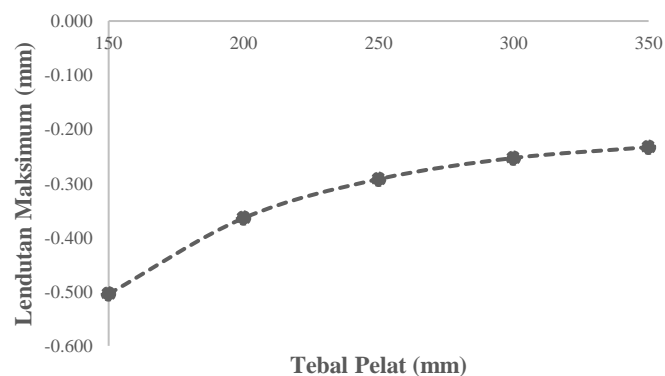
L = lebar konstruksi (m)

B = panjang konstruksi (m)

3. Hasil dan Pembahasan

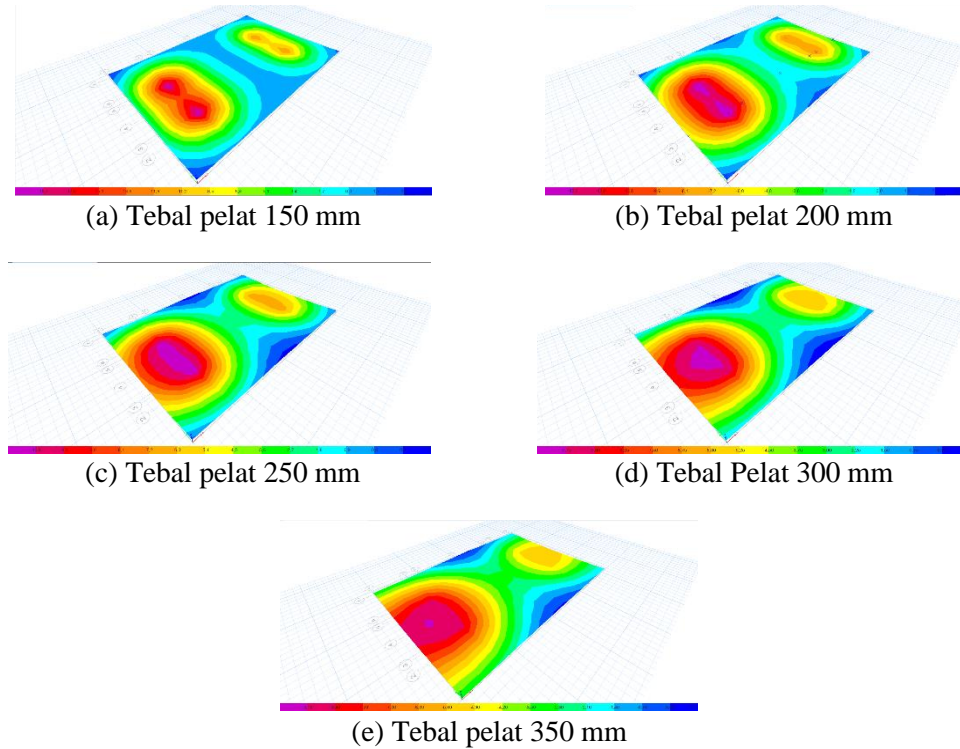
3.1 Lendutan Pelat Pembebanan Tengah

Lendutan pelat maksimum akibat beban tengah pada tebal pelat 150 mm; 200 mm; 250 mm; 300 mm; dan 350 mm berturut-turut adalah -0,504 mm; -0,364 mm; -0,292 mm; -0,253 mm; dan -0,233 mm. Grafik tebal pelat terhadap lendutan maksimum dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Lendutan pelat maksimum pembebanan tengah

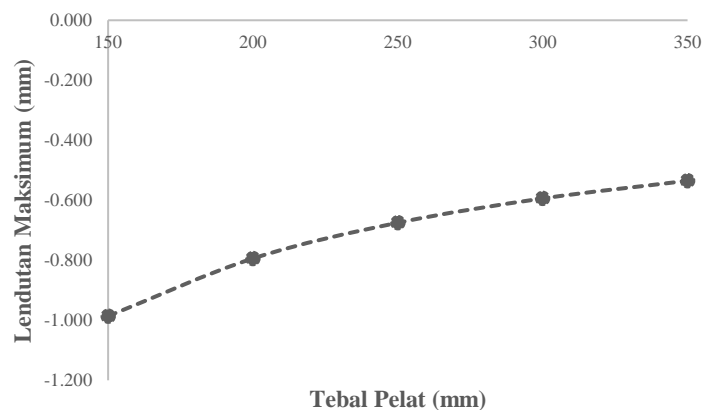
Lendutan pelat maksimum pembebanan tengah yang terjadi untuk semua variasi tebal pelat memenuhi persyaratan nilai lendutan maksimum -0,800 mm. Model lendutan hasil analisis metode elemen hingga akibat beban tengah diperlihatkan pada Gambar 6.



Gambar 6 Model lendutan metode elemen hingga akibat beban tengah

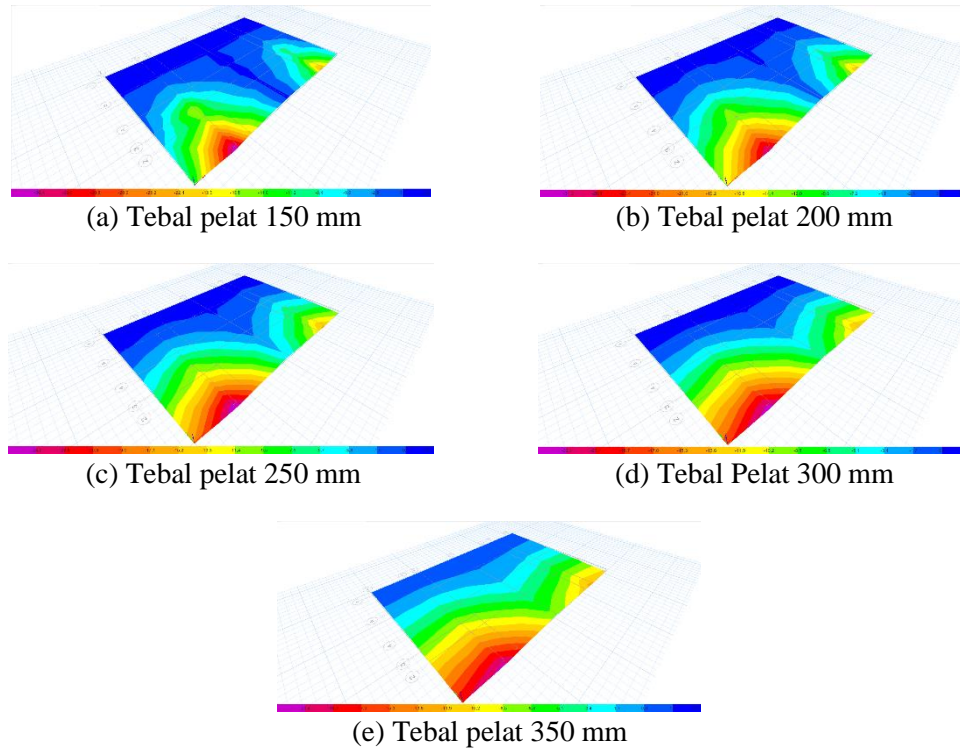
3.2 Lendutan Pelat Pembebanan Ujung

Lendutan pelat maksimum akibat beban ujung pada tebal pelat 150 mm; 200 mm; 250 mm; 300 mm; dan 350 mm berturut-turut adalah -0,986 mm; -0,794 mm; -0,675 mm; -0,594 mm; dan -0,535 mm. Grafik tebal pelat terhadap lendutan maksimum dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Lendutan pelat maksimum pembebanan ujung

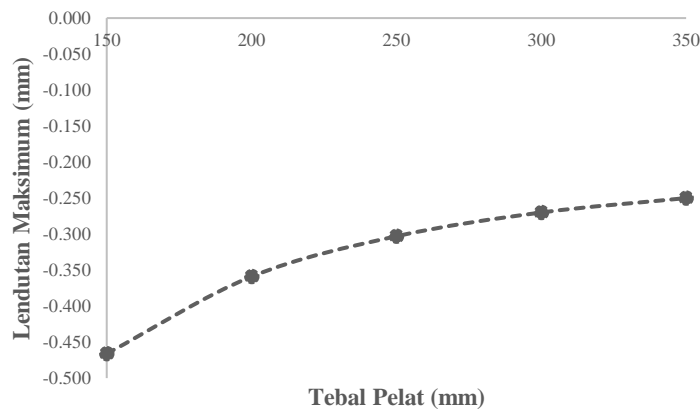
Lendutan pelat maksimum pembebanan ujung yang terjadi pada tebal pelat 150 mm adalah -0,986 mm dan tidak memenuhi persyaratan nilai lendutan izin yaitu -0,800 mm. Sedangkan untuk variasi tebal pelat lain sudah memenuhi persyaratan yakni memiliki nilai yang lebih kecil dari -0,800 mm. Model lendutan hasil analisis metode elemen hingga akibat beban ujung dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8 Model lendutan metode elemen hingga akibat beban ujung

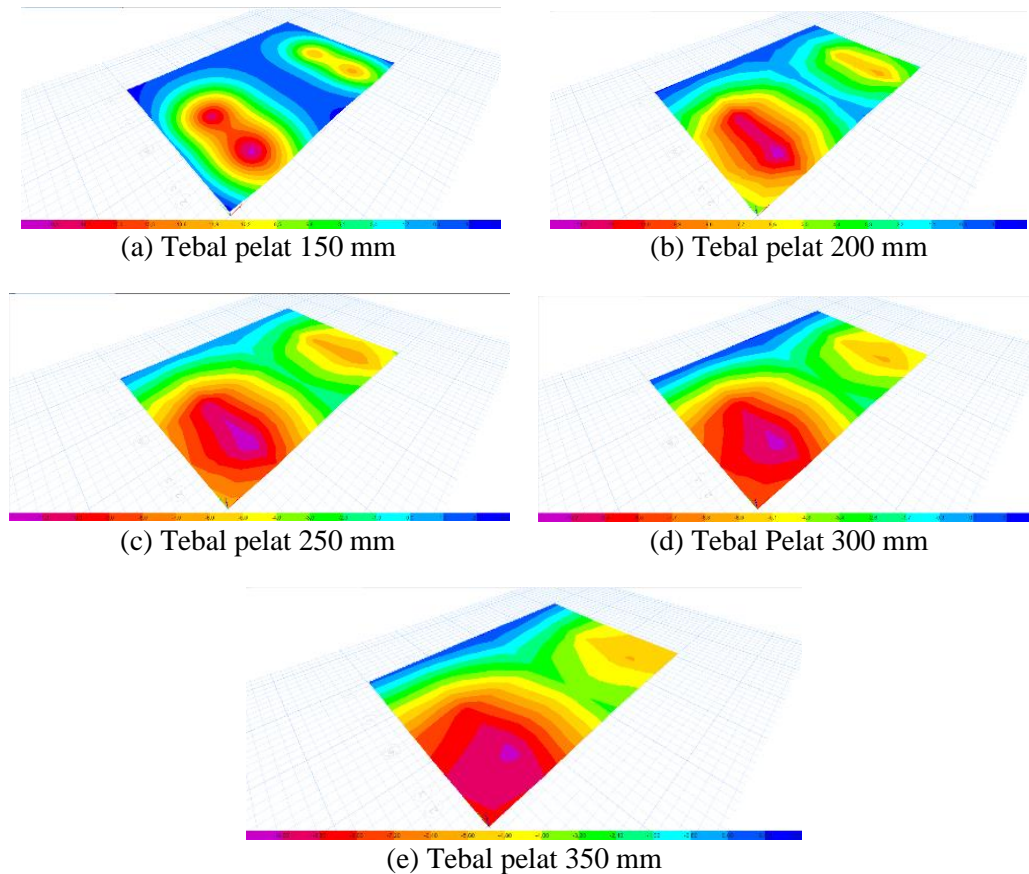
3.3 Lendutan Pelat Pembebanan Tepi

Lendutan pelat maksimum akibat beban tepi pada tebal pelat 150 mm; 200 mm; 250 mm; 300 mm; dan 350 mm berturut-turut adalah -0,466 mm; -0,359 mm; -0,303 mm; -0,270 mm; dan -0,250 mm. Grafik tebal pelat terhadap lendutan maksimum dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Lendutan pelat maksimum pembebanan tepi

Lendutan pelat maksimum pembebanan tepi untuk semua variasi tebal pelat sudah memenuhi persyaratan nilai lendutan maksimum yaitu $-0,800$ mm. Model lendutan hasil analisis metode elemen hingga akibat beban tepi dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10 Model lendutan metode elemen hingga akibat beban tepi

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis didapatkan lendutan pada bagian tengah dengan tebal pelat 150 mm adalah $-0,504$ mm; tebal pelat 200 mm adalah $-0,364$ mm; tebal pelat 250 mm adalah $-0,292$ mm; tebal pelat 300 mm adalah $-0,253$ mm; dan tebal pelat 350 mm adalah $-0,233$ mm. Lendutan pada bagian ujung dengan tebal pelat 150 mm adalah $-0,986$ mm; tebal pelat 200 mm adalah $-0,794$ mm; tebal pelat 250 mm adalah $-0,675$ mm; tebal pelat 300 mm adalah $-0,594$ mm; dan tebal pelat 350 mm adalah $-0,535$ mm. Lendutan pada bagian tepi dengan tebal pelat 150 mm adalah $-0,466$ mm; tebal pelat 200 mm adalah $-0,359$ mm; tebal pelat 250 mm adalah $-0,303$ mm; tebal pelat 300 mm adalah $-0,270$ mm; dan tebal pelat 350 mm adalah $-0,250$ mm. Tebal pelat sangat berpengaruh pada nilai lendutan, semakin tebal pelat, kekakuan pelat semakin tinggi maka nilai lendutan akan semakin kecil.

4.2 Saran

Saran dari hasil penelitian ini adalah dilakukannya analisis lendutan untuk kondisi yang tidak memenuhi persyaratan lendutan izin atau untuk kondisi lendutan yang mendekati nilai persyaratan yaitu dengan dilakukan cara perbaikan pada tanah lempung lunak agar dapat meningkatkan daya dukung tanah sehingga nilai lendutan menjadi memenuhi persyaratan.

Daftar Kepustakaan

- A. G, 2015. Evaluation of Rigid Pavements by Deflection Approach, *International Journal of Research in Engineering and Technology*. doi: 10.15623/ijret.2015.0406096.
- Alisjahbana, S. W. *et al*, 2019. Numerical simulation of vehicle movement on rigid roadway pavement with discontinuities, *Journal of Vibroengineering*. doi: 10.21595/jve.2019.20225.
- Khan, M. I., Khan, D. A. A. and Yadav, D. S, 2021. Mechanistic Analysis of Rigid Pavement for Wheel Load Stresses By Finite Element Method Considering Different Sub-Grade with Different Percentage of Metal Fibre, *Indian Journal of Transport Engineering*. doi: 10.35940/ijte.a1901.111221.
- Patil, V. A., Sawant, V. A. and Deb, K, 2013. 2-D finite element analysis of rigid pavement considering dynamic vehicle-pavement interaction effects, *Applied Mathematical Modelling*. doi: 10.1016/j.apm.2012.03.034.
- Rachardi, R. and Kurniawan, R, 2019. Analisis Tebal Perkerasan Jalan Rigid Di Kecamatan Sinar Peninjauan, *Jurnal Deformasi*. doi: 10.31851/deformasi.v3i2.2321.
- Sentosa, L. and Roza, A. A, 2012. Analisis Dampak Beban Overloading Kendaraan pada Struktur Rigid Pavement Terhadap Umur Rencana Perkerasan (Studi Kasus Ruas Jalan Simp Lago – Sorek Km 77 S/D 78), *Jurnal Teknik Sipil*. doi: 10.5614/jts.2012.19.2.7.
- Situmorang, A., Anon, P. and Rochim, A, 2020. Deflection Behaviour of Slab Pavement With Pile on Soft Soil, *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*. doi: 10.34218/ijciet.11.2.2020.006.
- Utomo, V. P., Surjandari, N. S. and Yulianto, B, 2017. Analisis Lendutan Perkerasan Kaku Pada Pembebanan Tengah dan Tepi Dengan Metode Elemen Hingga, *Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran dan Ilmu Kesehatan*. doi: 10.24912/jmstkik.v1i1.425.

- Yasir, F., Surjandari, N. S. and Purwana, Y. M., 2017. Analisis Lendutan Perkerasan Kaku Pada Pembebanan Sudut Dengan Metode Elemen Hingga, *Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran dan Ilmu Kesehatan*. doi: 10.24912/jmstkik.v1i1.426.
- Zhafirah, A. *et al.* (2019) 'Study of PVD effect on modulus of subgrade reaction', in *Journal of Physics: Conference Series*, p. 022007. doi: 10.1088/1742-6596/1402/2/022007.
- Zhafirah, A. (2020) 'Karakteristik Tanah Kawasan Gedebage Kota Bandung Berdasarkan Hasil Uji Lapangan dan Laboratorium', *Jurnal Konstruksi*. doi: 10.33364/konstruksi/v.17-2.776.