

Perbandingan Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur dengan MDP 2024 dan Plaxis 3D Foundation pada Timbunan di Atas Tanah *Clay Shale*

Intan Erika Permata Sari*, Murniati, Robby

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Palangka Raya

*Koresponden email: intanzerica1407@gmail.com

Diterima: 11 April 2025

Disetujui: 26 April 2025

Abstract

Clay shale is a type of clay soil formed by fine-grained sediments such as clay. Clay shale is very hard under closed conditions, but under open conditions, exposed to sunlight, water and air for a long time, its state changes and becomes weak, which ultimately causes a decrease in soil shear strength. The purpose of this thickness comparison is to analyze the feasibility of clay shale soil as a base layer for highway pavement with the thickness of MDP 2024. The analysis results show that the deflection and stress that occur in the flexible pavement structure are both safe/feasible. Thus, both pavement thicknesses can be implemented. The results of stress and deflection from IKN design data are the maximum stress of $823.2 \text{ kN/m}^2 < 1,450 \text{ kN/m}^2$ (allowable stress) and $2.668 \times 10^{-3} \text{ m} < 2.5 \times 10^{-2} \text{ m}$ (allowable deflection). As for the results of stress and deflection with thickness The 2024 Road Pavement Design Manual method is used, the maximum stress is $1075 \text{ kN/m}^2 < 1,450 \text{ kN/m}^2$ (allowable stress) and $1,601 \times 10^{-3} \text{ m} < 2.5 \times 10^{-2} \text{ m}$ (allowable deflection). It is recommended to use the design pavement thickness from the IKN design for the evaluation because the stability of the flexible pavement structure in the IKN design is better than the pavement structure using the MDP 2024 method.

Keywords : *flexible pavement, clay shale, plaxis 3D foundation, IKN, MDP 2024*

Abstrak

Clay shale adalah jenis tanah lempung yang terbentuk oleh sedimentasi berbutir halus seperti lempung. *Clay shale* sangat keras dalam kondisi tertutup namun bila dalam kondisi terbuka, Kondisinya berubah dan menjadi lemah setelah terpapar dalam waktu yang lama dengan sinar matahari, air, dan udara yang pada akhirnya menyebabkan kekuatan geser tanah menurun. Perbandingan ketebalan ini bertujuan untuk menganalisis kelayakan tanah *clay shale* sebagai lapisan dasar untuk perkerasan jalan raya dengan ketebalan MDP 2024. Hasil analisis menunjukkan bahwa lendutan dan tegangan pada struktur perkerasan lentur keduanya aman/layak. Sehingga kedua ketebalan perkerasan tersebut dapat dilaksanakan. Hasil dari tegangan dan lendutan dari data perencanaan IKN yaitu tegangan maksimum $823,2 \text{ kN/m}^2 < 1.450 \text{ kN/m}^2$ (tegangan ijin) dan $2,668 \times 10^{-3} \text{ m} < 2,5 \times 10^{-2} \text{ m}$ (lendutan ijin). Sedangkan untuk hasil tegangan dan lendutan dengan ketebalan menggunakan Metode Manual Desain Perkerasan Jalan 2024 yaitu tegangan maksimum $1075 \text{ kN/m}^2 < 1.450 \text{ kN/m}^2$ (tegangan ijin) dan $1,601 \times 10^{-3} \text{ m} < 2,5 \times 10^{-2} \text{ m}$ (lendutan ijin). Berdasarkan evaluasi direkomendasikan menggunakan tebal perkerasan perencanaan dari perencanaan IKN, karena stabilitas struktur perkerasan lentur pada perencanaan IKN lebih baik dibanding dengan struktur perkerasan menggunakan metode MDP 2024.

Kata kunci : *perkerasan lentur, clay shale, plaxis 3D foundation, IKN, MDP 2024*

1. Pendahuluan

Perkerasan jalan adalah komponen penting dari system transportasi yang berfungsi untuk menyalurkan beban kendaraan ke lapisan tanah dasar. Clay shale adalah batuan sedimen halus yang memiliki daya dukung cukup tinggi dalam kondisi kering dan tertutup, namun sangat mudah mengalami pelapukan dan kehilangan kekuatan geser saat terpapar udara, air, dan sinar matahari dalam waktu yang lama (Nickmann et al., 2010; Waskito et al., 2016). Di kawasan pembangunan Ibu Kota Negara (IKN), jenis tanah yang paling umum adalah *clay shale* yaitu tanah lempung yang mengalami pelapukan yang signifikan saat terekspos air, udara, dan cahaya matahari yang dapat dilihat pada **Gambar 1**. Karakteristik ini menyebabkan *clay shale* mengalami penurunan kekuatan geser yang signifikan, berpotensi mengganggu kestabilan konstruksi di atasnya.



Gambar 1. Tanah *Clay Shale*
Sumber: Hasil dokumentasi, (2024)

Permasalahan utama yang dihadapi pada struktur perkerasan di atas tanah *clay shale* adalah menurunnya daya dukung tanah, getaran berlebih akibat beban lalu lintas berat dan kerusakan lapisan perkerasan. Oleh karena itu, diperlukan analisis untuk mengevaluasi kelayakan struktur perkerasan pada kondisi tersebut.

Studi ini menggunakan *software Plaxis 3D Foundation* dan Metode Manual Desain Perkerasan Jalan 2024 untuk menilai besaran lendutan dan tegangan yang disebabkan oleh pembebanan lalu lintas. Penelitian ini bertujuan untuk menggambarkan perilaku struktur perkerasan lentur pada tanah dasar *clay shale* dengan menggunakan metode *Finite Element Method (FEM)*.

2. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini, dua pendekatan digunakan. Pendekatan kuantitatif mengkaji desain struktur perkerasan dan menghitung tebal perkerasan jalan yang cocok untuk konstruksi yang berada pada tanah *clay shale* dan pendekatan eksperimental mensimulasikan struktur perkerasan dengan program *Plaxis 3D Foundation*. Program *Plaxis 3D Foundation* digunakan yang menghasilkan output seperti perpindahan, lendutan, dan tegangan. Selanjutnya, hasil ini dibandingkan dan dianalisis untuk mengetahui seberapa stabil struktur perkerasan jalan.

Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui observasi langsung di lapangan, dokumentasi, dan wawancara. Data sekunder diperoleh dari data atau informasi yang diperoleh dari instansi terkait yang berwenang dan terstruktur. Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan tahap studi literatur, data primer dan data sekunder.

3. Hasil dan Pembahasan

Sifat-Sifat Material

Sifat-sifat material yang digunakan pada penelitian berupa hasil perhitungan dan pengujian laboratorium yang telah dilakukan dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Sifat-sifat Material untuk Lapis AC-WC, AC-BC dan AC-Base, Base Course, dan Subgrade dan Clay Shale

Parameter	Nama	AC-WC	AC-BC	AC-Base	Base Course	Subgrade	Clay Shale	Satuan
Model	Model	Mohr-Coloumb	Mohr-Coloumb	Mohr-Coloumb	Mohr-Coloumb	Mohr-Coloumb	Mohr-Coloumb	-
Jenis perilaku material	Jenis	Tak Terdrainase	Tak Terdrainase	Tak Terdrainase	Tak Terdrainase	Tak Terdrainase	Tak Terdrainase	-
Berat isi di atas garis freatik	Γ_{unsat}	25,54	25,54	25,51	22,4	16,98	20	kN/m ³

Parameter	Nama	AC-WC	AC-BC	AC-Base	Base Course	Subgrade	Clay Shale	Satuan
Berat isi di bawah garis freatik	Γ_{sat}	25,54	25,54	25,51	22,9	18,7	20	kN/m^3
Permeabilitas	k_x, k_y, k_z	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,001	m/hari
Modulus Young (konstan)	E_{ref}	2.052.818	1.972.795	2.694.633	395.000	60.000	39.600	kN/m^2
Angka Poisson	ν	0,40	0,40	0,40	0,35	0,35	0,325	-
Kohesi (konstan)	c_{ref}	120	120	120	30			kN/m^2
Sudut geser	Φ	35	35	35	43		24	°
Sudut dilatasi	Ψ	0	0	0	0			

Sumber: Hasil Analisis (2025)

A. Analisis Struktur Perkerasan Lentur Berdasarkan Metode Manual Desain Perkerasan Jalan 2024 Menggunakan Program *Plaxis 3D FOUNDATION*

Analisis struktur perkerasan lentur berdasarkan Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP) 2024 dengan *Plaxis 3D Foundation* dapat dilihat *displacement* (perpindahan) dan *stress* (tegangan) di bawah ini:

1. *Displacement* (Perpindahan)

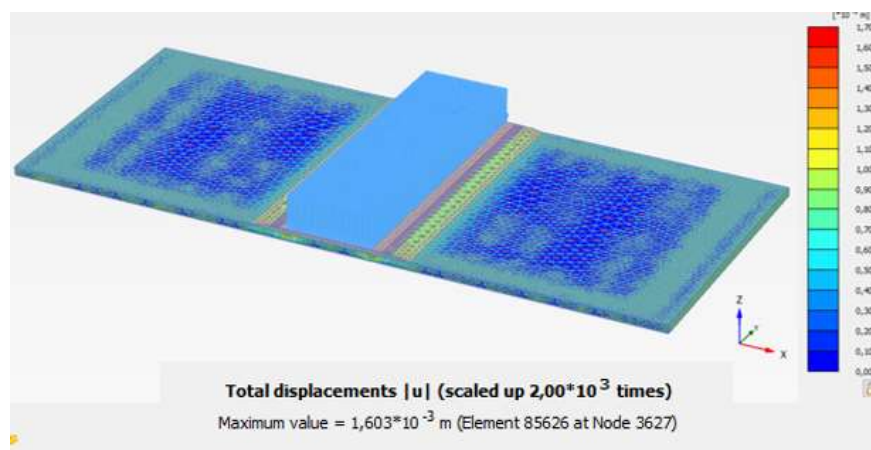
Berdasarkan hasil analisis dengan menggunakan *PLAXIS 3D FOUNDATION* didapat besaran perpindahan horizontal (x), horizontal (z), dan vertikal (y) yang terjadi pada lapisan perkerasan lentur masing-masing dapat dilihat di **Tabel 2**.

Tabel 2. Nilai Perpindahan pada Lapisan Perkerasan Lentur Menggunakan Metode MDP 2024 dengan *PLAXIS 3D FOUNDATION*

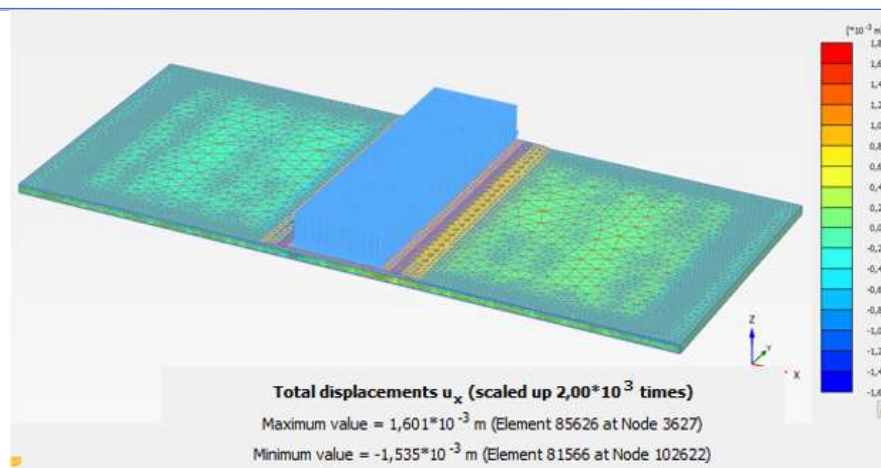
	Perpindahan Horizontal (x) [U_x]	Perpindahan Vertikal (z) [U_z]	Perpindahan Horizontal (y) [U_y]
qu maks ($\times 10^{-3}$ m)	1,601	0,5186	0,094845
qu Min ($\times 10^{-3}$ m)	-1,535	-0,8406	-0,1020
Keterangan	: * tanda (+) berarti perpindahan ke kanan/depan/atas * tanda (-) berarti perpindahan ke kiri/turun/bawah		

Sumber: Hasil Penelitian (2025)

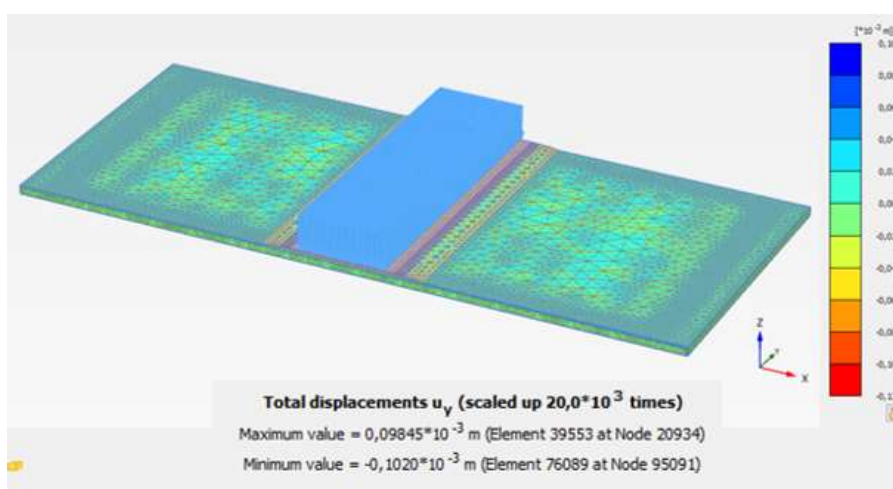
Berdasarkan **Tabel 2** diketahui bahwa nilai perpindahan/lendutan terbesar pada perpindahan horizontal (x) [U_x] terjadi sebesar 0,001601 m berupa perpindahan ke kanan, sedangkan nilai perpindahan vertikal (z) [U_z] terjadi sebesar 0,0008406 m berupa perpindahan ke bawah, dan nilai perpindahan horizontal (y) [U_y] terbesar sebesar 0,0001020 m berupa perpindahan turun. Hasil perpindahan pada *Plaxis 3D Foundation* seperti pada **Gambar 2** hingga **Gambar 5**:



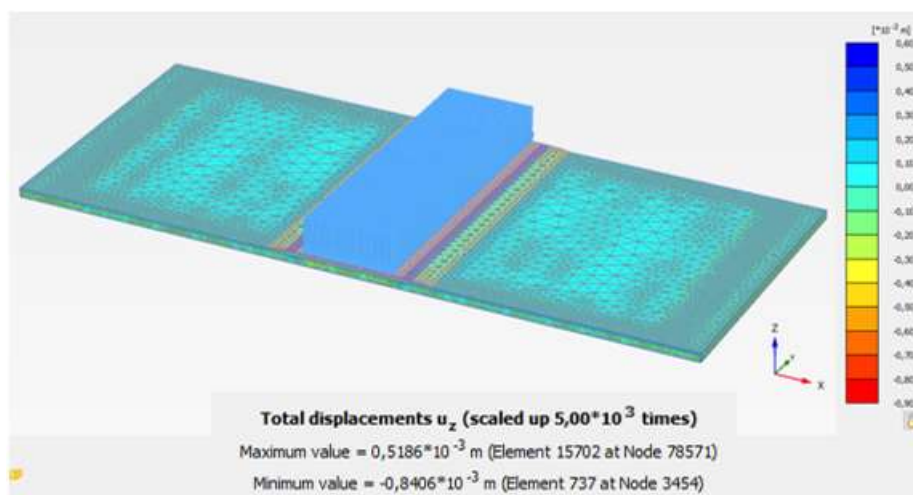
Gambar 2. Total Displacements Output Plaxis
Sumber: Hasil Penelitian (2025)



Gambar 3. Displacements U_x Output Plaxis
Sumber: Hasil Penelitian (2025)



Gambar 4. Displacements U_y Output Plaxis
Sumber: Hasil Penelitian (2025)



Gambar 5. Displacements U_z Output Plaxis
Sumber: Hasil Penelitian (2025)

2. Stress (Tegangan)

Tegangan total, tegangan efektif, dan nilai-nilai tegangan yang terjadi pada setiap lapisan perkerasan lentur dapat dilihat pada **Tabel 3**.

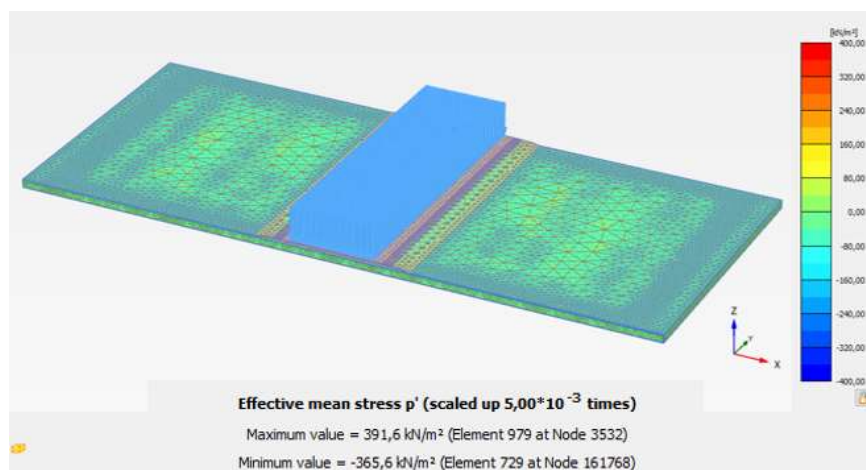
Tabel 3. Nilai Tegangan pada Lapisan Perkerasan Lentur Menggunakan Metode MDP 2024 dengan Plaxis

	Tegangan Efektif			Tegangan Total
	Tegangan rata-rata [p'] (kN/m ²)	Tegangan geser relative [τ _{rel}] (kN/m ²)	Tegangan deviator [q] (kN/m ²)	Tegangan rata-rata [p] (kN/m ²)
qu Maks	391,6	1,000	410	1075
qu Min	-365,6	1,273×10 ⁻⁹	0,06615×10 ⁻⁶	-995,7

Keterangan: * tanda (+) berarti tegangan Tarik
* tanda (-) berarti tegangan Tekan

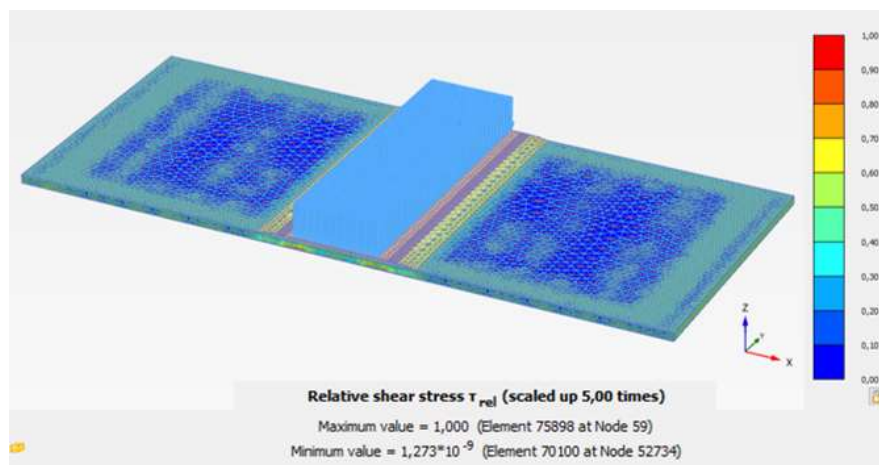
Sumber: Hasil Penelitian (2025)

Berdasarkan **Tabel 3** diketahui bahwa Nilai tegangan efektif rata-rata [p'] sebesar 391,6 kN/m² tegangan tarik, nilai tegangan geser relatif [τ_{rel}] sebesar 1,000 kN/m², nilai tegangan deviator [q] sebesar 410 kN/m², dan nilai tegangan total rata-rata. Hasil tegangan pada *Plaxis 3D Foundation* dapat dilihat pada **Gambar 6** hingga **Gambar 9**:



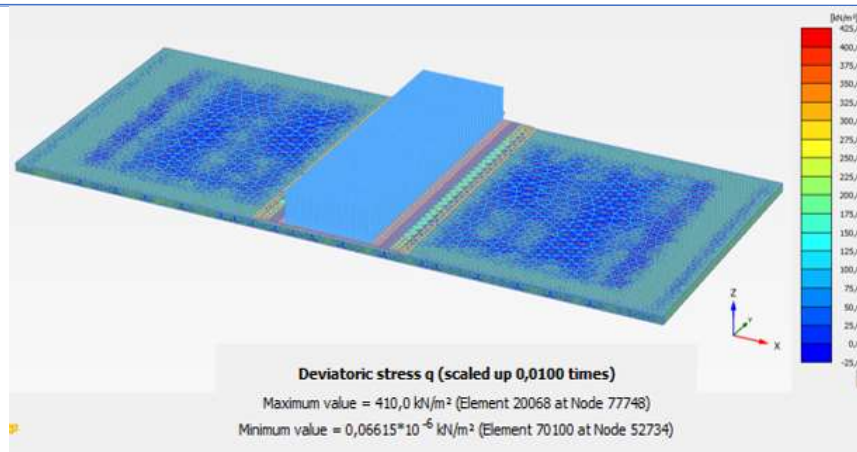
Gambar 6. Nilai tegangan rata-rata [p']

Sumber: Hasil Penelitian (2025)



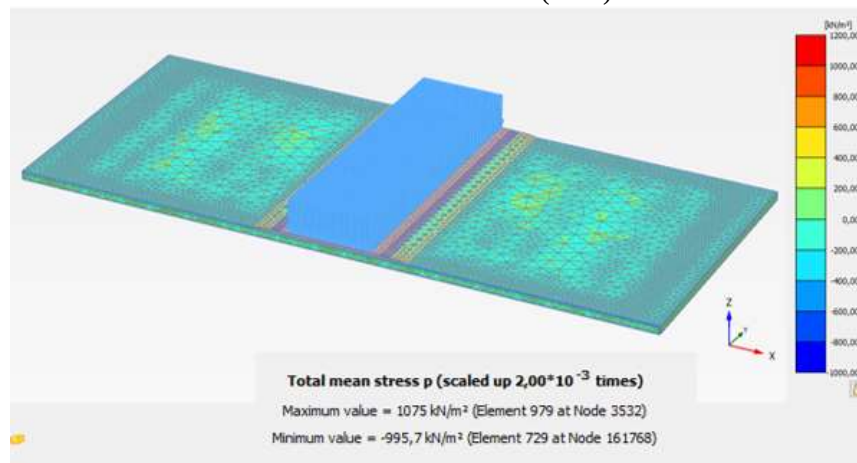
Gambar 7. Nilai Tegangan Geser Relatif [τ_{rel}]

Sumber: Hasil Penelitian (2025)



Gambar 8. Nilai Tegangan Deviator [q]

Sumber: Hasil Penelitian (2025)



Gambar 9. Nilai Tegangan Rata-Rata [p]

Sumber: Hasil Penelitian (2025)

B. Evaluasi Hasil Analisis Struktur Perkerasan Jalan Lentur Data Perencanaan IKN dan Menggunakan MDP 2024

Hasil evaluasi analisis struktur perkerasan lentur dengan data perencanaan IKN dan menggunakan tebal perkerasan berdasarkan MDP 2024 pada **Tabel 4** berikut ini:

Tabel 4. Hasil Evaluasi Analisis Struktur Perkerasan Jalan

Kriteria	Perkerasan Lentur Data Perencanaan IKN	Perkerasan Lentur menggunakan MDP 2024	Pembahasan
Perpindahan (PLAXIS)	Perpindahan/lendutan total yang terjadi sebesar adalah $2,668 \times 10^{-3}$ m dengan permodelan beban merata. Lendutan maksimal masih berada di bawah batas aman.sebesar $2,668 \times 10^{-3}$ m < $2,5 \times 10^{-2}$ dari lendutan ijin	Perpindahan/lendutan total yang terjadi sebesar adalah $1,601 \times 10^{-3}$ m dengan permodelan beban merata. Ledutan yang terjadi masih di atas batas aman, yaitu $1,601 \times 10^{-3}$ m = $2,5 \times 10^{-2}$ dari lendutan ijin.	Kedua ketebalan struktur perkerasan lentur dapat digunakan karena lendutan mereka tidak melampaui batas yang diijinkan.

Kriteria	Perkerasan Lentur Data Perencanaan IKN	Perkerasan Lentur menggunakan MDP 2024	Pembahasan
Tegangan (PLAXIS)	Tegangan maksimal yang didapat sebesar adalah 823,2 kN/m ² . Karena tegangan maksimalnya tidak melebihi batas tegangan ($823,2 < 1.450$ kN/m ²), Tanah dasar kuat dan aman untuk mendukung struktur perkerasan.	Tegangan maksimal yang didapat sebesar adalah 1075 kN/m ² . Karena tegangan maksimal tidak melebihi batas tegangan ($1075 < 1.450$ kN/m ²), Tanah dasar kuat dan aman untuk mendukung struktur perkerasan.	Kedua struktur perkerasan lentur kuat dan aman karena tegangan yang terjadi padanya tidak melampaui daya dukung tanah. Nilai tegangan yang terjadi di bawah struktur perkerasan lentur berdasarkan data dari perencanaan IKN lebih kecil. Hal ini menunjukkan bahwa stabilitas perencanaan struktur lentur lebih baik daripada struktur yang menggunakan metode MDP 2024.

Sumber: Hasil penelitian (2025)

4. Kesimpulan

Hasil evaluasi perhitungan menggunakan Plaxis 3D Foundation dan data perencanaan IKN menunjukkan bahwa struktur perkerasan lentur aman dan layak karena dapat menahan tegangan dan lendutan yang diijinkan. Tegangan maksimum $823,2 \text{ kN/m}^2 < 1.450 \text{ kN/m}^2$ (tegangan ijin) dan $2,668 \times 10^{-3} \text{ m} < 2,5 \times 10^{-2} \text{ m}$ (lendutan ijin).

Tebal perkerasan lentur menggunakan Metode Manual Desain Perkerasan Jalan 2024 menghasilkan ketebalan perkerasan sebagai berikut:

AC-WC = 40 mm
AC-BC = 60 mm
AC-Base = 90 mm (dengan menggunakan aspal Pen 60-70)
Lapis Pondasi Agregat Kelas A = 200 mm
Lapis Pondasi Agregat Kelas B = 150 mm
Timbunan = 200mm

Dengan menggunakan Manual Desain Perkerasan Jalan 2024 dengan Plaxis 3D Foundation, evaluasi terhadap rencana tebal perkerasan lentur menunjukkan bahwa struktur perkerasan lentur tersebut aman dan layak karena mampu menahan tegangan dan lendutan yang terjadi pada struktur perkerasan tanpa melampaui batas yang diizinkan. Batas tegangan dan lendutan ijinnya. $1075 \text{ kN/m}^2 < 1.450 \text{ kN/m}^2$ (Tegangan maksimum), dan $1,601 \times 10^{-3} \text{ m} < 2,5 \times 10^{-2} \text{ m}$ (lendutan maksimum).

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan dari Palangka Raya yang telah memberikan pengetahuan dan keahlian yang sangat membantu penelitian ini. Namun, rekan-rekan ini mungkin tidak setuju dengan semua interpretasi atau kesimpulan yang disajikan dalam makalah ini.

6. Referensi

- [1.] Bishop, A. W., & Hight, D. W, 1977. *The value of Poisson's ratio in saturated soils and rocks stressed under undrained conditions*. *Geotechnique*, 27(3), 369-384.
- [2.] Blatt, H. & Robaert, J. T., 1996. *Igneous, Sedimentary and Metamorphic*, 2nd edition, Freeman, pp. 281-292
- [3.] Daniel Adrian, 2019. Analisa Sudut-Geser-Dalam Tanah Berbutir Halus (*Cohesive Soil*) Berdasarkan Pendatan *Cracked Soil*, Vol. 8 No.2 Surabaya
- [4.] Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 2024, Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 15/SE/Db/2024, Jakarta.
- [5.] Direktorat Jenderal Bina Marga, 2023. Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia Nomor.09/P/BM/2023, Jakarta
- [6.] Diklat Desain Teknik Perkerasan Jalan, 2016. Analisa Lalu Lintas Jalan. Bandung
- [7.] Diklat Desain Teknik Perkerasan Jalan, 2016. Desain Perkerasan Lentur, Bandung

- [8.] Edward Widjaja, Nita Ivana dan Rizal Jabarudin Nur, 2023. Analisis Stabilitas Jangka Pendek dan Jangka Panjang Timbunan Tanah Lunak Menggunakan Tipe Drainase Undrained A dan Undrained B pada Metode Elemen Hingga Plaxis 2D, Bandung
- [9.] Galic, M., Marovic, P., & Nikolic, 2011. Modified Mohr-Coulomb–Rankine material model for concrete. *Engineering computations*, 28(7), 853-887.
- [10.] Pallav, V., Teppand, T., Leinpuu, A., Shanskiy, M., Mets, M., Mändar, H., ... & Liiv, J. 2023. Stabilization of Road Embankments on Peat Soils Using Oil Shale Ash and Pozzolan Additives. *Applied Sciences*, 13(14), 8366.
- [11.] Ir. Maraden Panjaitan, 2023. Karakteristik Clay Shale: Permasalahan dan Penanganan Studi Kasus di Wilayah Pengembangan IKN. *Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia* (ppt. 26-27). Kalimantan Timur: Komda Kaltim.
- [12.] Indra Nurtjahjaningtyas, 2024. Korelasi Modulus Elastisitas Light Weight Deflectometer Dan California Bearing Ratio, Vol. 2, No 3, 2024, p. 676-685
- [13.] Nasional, 2004. Geometri Jalan Perkotaan. *Badan Standardisasi Nasional*. Jakarta.
- [14.] M. Alatas, 2017. Korelasi Parameter Kuat Geser Tanah Terhadap N-SPT Pada Tanah Lempung Over Konsolidasi Di Jakarta Dan Sekitarnya. Hambangang, Jawa Barat
- [15.] Santa, C., Fernandes, I., & Chaminé, H. I. (2021, November). Methodologies for geological-geotechnical characterization of rock masses: role of geomechanical classifications and indexes. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 942, No. 1, p. 012025). IOP Publishing.
- [16.] Octaviani, 2021. *Analisis Numerik Perkerasan Sistem Pelat Terpaku Pada Timbunan Di Atas Tanah Lunak* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Riau).
- [17.] Pardoyo, 2020. Residual Shear Strenght, Slake Durability And Mineralogy In Clay Shale And Rock On Ungaran-Salatiga Toll Road, Bawen, Semarang.
- [18.] Ou, C. Y., Yang, K. H., Teng, F., Chiou, J. S., Lu, C. W., Li, A. J., ... & Liao, J. T. 2023. *Fundamentals of Foundation Engineering*. CRC Press.
- [19.] Tamagninia, C., & Oliynyka, K. The theory of plasticity in constitutive modeling of rate-independent soils. *ALERT Doctoral School 2021 Constitutive Modelling in Geomaterials*, 19.
- [20.] Raharjo, N. D. 2022. Dasar Perencanaan Geometrik Jalan Raya. *Jember: Cerdas Ulet Kreatif*.
- [21.] Sukirman, 2010. Perencanaan Tebal Struktur Perkerasan Lentur. *Bandung: Nova*
- [22.] Syafiq, A., & Luluk, 2014. *Analisis Stabilitas Lereng pada Tanah Clay Shale Proyek Jalan Tol Semarang Solo Paket VI STA 22+ 700-STA 22+ 775* (Doctoral dissertation, Diponegoro University).
- [23.] Waskito, F. Z., Pamungkas, G., Hardiyati, S., & Sadono, 2016. Analisa Stabilitas Lereng Clayshale Pada Pekerjaan Pembangunan Jalan Tol Bawen-salatiga Paket 3.1 Sta 22+ 900–Sta 23+ 500. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 5(2), 211-219
- [24.] Wahyu Nahrul Firdaus, Hanafiah dan Rizal Syahyadi, 2020. Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Metode Pt T-01-2002-B dan MDP 2017 Edisi Revisi Serta Anggaran Biaya Metode AHSP 2016 Pada Peningkatan Jalan Peureulak-Lokop Segmen I. *Buketrata* ISSN 2620-6366