

Keandalan Ketebalan Konstruksi Terhadap Masa Layanan Berdasarkan Fatigue dan Lendutan Pada Kasus Jalan BTS Kampar - BTS Kota Bangkinang

Afdirman Jufri¹, Leo Sentosa², Muhamad Yusa³, Muhandi⁴, Gunawan Wibisono⁵, Syawal Satibi⁶

¹. Teknik Sipil, Universitas Riau, Pekanbaru, Indonesia

^{2,3,4,5,6} Dosen, Universitas Riau, Pekanbaru, Indonesia

Email : afdirmanppk2@gmail.com

ABSTRAK

Ketebalan konstruksi perkerasan merupakan elemen krusial dalam menjamin masa layanan jalan yang andal di bawah pengaruh beban lalu lintas berulang dan kondisi lingkungan yang dinamis. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi keandalan ketebalan perkerasan berdasarkan analisis kelelahan (*fatigue*) dan deformasi permanen dengan mengacu pada metode AASHTO 1993 dan Manual Desain Perkerasan (MDP) 2024. Lokasi kajian berada pada ruas jalan BTS Kampar – BTS Kota Bangkinang yang mengalami peningkatan volume kendaraan secara signifikan. Analisis dilakukan melalui pemodelan numerik menggunakan perangkat lunak *KENPAVE* dengan mempertimbangkan variasi faktor kerusakan kendaraan (*Vehicle Damage Factor/VDF*) dan tingkat pertumbuhan lalu lintas sebesar 4,83% hingga 10%. Hasil menunjukkan bahwa ketebalan konstruksi yang dirancang dengan memperhatikan kondisi lalu lintas aktual menghasilkan masa layanan yang lebih optimal. Kombinasi asumsi VDF faktual 10 tahun memberikan masa layan lebih panjang dibandingkan skenario dengan kombinasi VDF faktual 2 tahun dan normal 8 tahun. Temuan ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam perencanaan struktur perkerasan yang lebih andal dan berkelanjutan.

Kata kunci: ketebalan perkerasan, umur layan, kelelahan, deformasi permanen, *KENPAVE*.

ABSTRACT

The thickness of pavement construction is a critical factor in ensuring reliable service life under repeated traffic loads and dynamic environmental conditions. This study aims to evaluate the reliability of pavement thickness based on fatigue and permanent deformation analysis, referring to the AASHTO 1993 method and the 2024 Pavement Design Manual (MDP). The study was conducted on the BTS Kampar – BTS Kota Bangkinang road section, which experiences significant traffic growth. Numerical analysis was performed using KENPAVE software, incorporating variations in Vehicle Damage Factor (VDF) and traffic growth rates ranging from 4.83% to 10%. The results indicate that pavement thickness designed in accordance with actual traffic conditions yields a more optimal service life. The scenario with 10-year factual VDF assumptions resulted in a longer service life compared to the combined VDF scenario of 2 years factual and 8 years normal. These findings are expected to serve as a technical reference for planning more reliable and sustainable pavement structures.

Keywords: *pavement thickness, service life, fatigue, permanent deformation, KENPAVE.*

Pendahuluan

Permasalahan kerusakan dini pada perkerasan jalan masih menjadi tantangan utama dalam pengembangan infrastruktur transportasi darat di Indonesia. Berdasarkan data dari Direktorat Jenderal Bina Marga (2024), sekitar 47% kerusakan jalan disebabkan oleh kelebihan beban kendaraan, diikuti oleh kualitas pemeliharaan yang rendah (20%), ketidaksesuaian desain (18%), serta mutu konstruksi yang tidak optimal (15%). Perkerasan lentur (flexible pavement) khususnya, sangat rentan terhadap pengaruh pembebanan berulang dan kondisi lingkungan yang berubah-ubah.

Desain perkerasan yang andal harus mampu mempertimbangkan parameter-parameter teknis seperti ketebalan lapisan, jenis material, kekuatan tanah dasar, serta proyeksi beban lalu lintas. Metode American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) 1993 dan Manual Desain Perkerasan (MDP) 2024 merupakan dua pendekatan utama yang sering digunakan dalam penentuan tebal perkerasan. Metode AASHTO 1993 bersifat empirical, sementara MDP 2024 mengadopsi pendekatan mechanistic-empirical yang memungkinkan analisis berbasis respons struktural terhadap beban lalu lintas aktual.

Beberapa studi sebelumnya (Huan, 2002; Sudarsanan & Kim, 2022) telah menunjukkan bahwa ketebalan perkerasan yang tidak dirancang dengan mempertimbangkan kelelahan (fatigue) dan deformasi permanen (permanent deformation) cenderung mempercepat kerusakan struktural. Penelitian lain oleh Wang et al. (2021) menegaskan bahwa ketidaksesuaian antara modulus elastisitas lapisan lama dan baru dapat memicu konsentrasi tegangan dan retak reflektif.

Namun demikian, belum banyak kajian yang secara spesifik mengevaluasi keandalan ketebalan konstruksi berdasarkan simulasi numerik terhadap variasi Vehicle Damage Factor (VDF) dan pertumbuhan lalu lintas. Hal ini menjadi penting mengingat ketahanan jalan sangat bergantung pada kondisi operasional aktual yang bersifat dinamis.

Penelitian ini dibatasi pada ruas Jalan BTS Kampar – BTS Kota Bangkinang dengan fokus pada analisis umur layan perkerasan menggunakan pendekatan AASHTO 1993 dan MDP 2024, serta simulasi numerik menggunakan perangkat lunak KENPAVE. Hasil simulasi mencakup analisis tegangan, regangan, dan lendutan, yang kemudian digunakan untuk memprediksi umur layanan berdasarkan variasi VDF dan tingkat pertumbuhan lalu lintas antara 4,83% hingga 10%.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi keandalan ketebalan konstruksi perkerasan terhadap umur layanan berdasarkan kriteria fatigue dan rutting, serta memberikan rekomendasi teknis yang dapat digunakan oleh praktisi maupun pengambil kebijakan dalam menentukan ketebalan optimum untuk struktur perkerasan jalan yang lebih tahan lama dan berkelanjutan.

Metode Penelitian

Penelitian ini didasarkan pada asumsi bahwa umur layanan perkerasan sangat dipengaruhi oleh ketebalan konstruksi dan respons struktural terhadap beban lalu lintas berulang. Evaluasi dilakukan dengan pendekatan mekanistik-empirik untuk

menilai tingkat keandalan struktur perkerasan terhadap potensi kerusakan berupa *fatigue cracking* dan *rutting*.

Subjek penelitian adalah ruas Jalan BTS Kampar – BTS Kota Bangkinang di Provinsi Riau, yang dipilih karena memiliki volume lalu lintas harian yang tinggi dan menjadi jalur utama transportasi antarwilayah. Data yang digunakan terdiri atas data primer berupa kondisi lapangan dan parameter material, serta data sekunder berupa lalu lintas eksisting, proyeksi pertumbuhan kendaraan, dan data teknis perkerasan.

Instrumen utama penelitian adalah perangkat lunak KENPAVE, yang digunakan untuk melakukan simulasi numerik terhadap struktur perkerasan berlapis. Model input meliputi modulus elastisitas material, ketebalan lapisan, nilai *Vehicle Damage Factor* (VDF), dan tingkat pertumbuhan lalu lintas (4,83%–10%).

Prosedur pengumpulan data dilakukan melalui survei lapangan untuk karakteristik tanah dasar dan struktur eksisting, serta analisis data lalu lintas dari instansi terkait. Desain ketebalan dianalisis menggunakan metode AASHTO 1993 dan MDP 2024.

Kerangka analisis data melibatkan perbandingan hasil simulasi regangan dan lendutan terhadap batas kriteria kegagalan berdasarkan *fatigue* dan *permanent deformation*. Hasil dari setiap skenario kemudian dikonversi menjadi estimasi umur layanan, yang digunakan untuk menilai keandalan masing-masing desain dalam jangka panjang.

Hasil dan Pembahasan

1. Perbandingan Desain Ketebalan Perkerasan

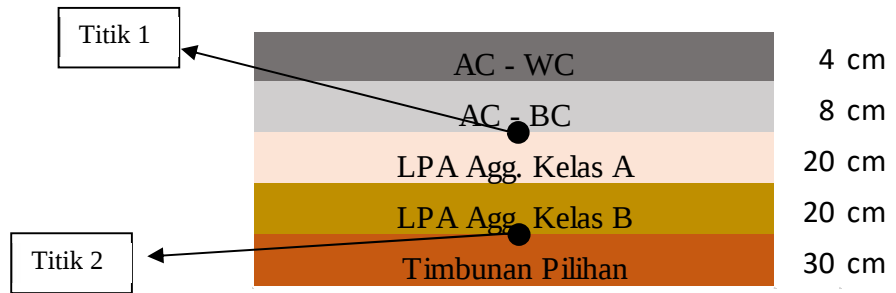
Perhitungan ketebalan struktur perkerasan menggunakan metode AASHTO 1993 menghasilkan total tebal 82 cm, sedangkan metode MDP 2024 menghasilkan 83,5 cm. Perbedaan ini mencerminkan karakteristik metode masing-masing. AASHTO 1993 bersifat *empirical*, dengan keterbatasan dalam mempertimbangkan kondisi tanah lokal dan iklim tropis. Sebaliknya, MDP 2024 bersifat *mechanistic-empirical* dan lebih sensitif terhadap input lokal seperti nilai resilient modulus, kadar air, dan suhu lingkungan, perbandingan tebal perkerasan antara kedua metode dapat dilihat pada Gambar 1.

Tebal Lapisan AASHTO 1993		Tebal Lapisan MDP 2024	
AC - WC	4 cm	AC - WC	4 cm
AC - BC	8 cm	AC - BC	6 cm
LPA Agg. Kelas A	20 cm	AC - BASE	8.5 cm
LPA Agg. Kelas B	20 cm	AC - BASE	10 cm
Timbunan Pilihan	30 cm	LPA Agg. Kelas A	20 cm
		LPA Agg. Kelas B	15 cm
		Timbunan Pilihan	20 cm

Gambar 1. Perbandingan tebal perkerasan antara kedua metode

2. Analisis Regangan dan Tegangan

Hasil simulasi dengan perangkat lunak KENPAVE menunjukkan nilai regangan tarik horizontal (ϵ_t) dan regangan vertikal (ϵ_z) pada titik tinjau kritis. Titik 1 dianalisis untuk fatigue cracking pada kedalaman ± 12 cm, sedangkan Titik 2 untuk rutting pada kedalaman ± 52 cm, titik tinjau dapat dilihat pada Gambar 2, hasil regangan yang di dapatkan dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 2. Titik Tinjau

Titik 1 : Letak analisis kerusakan *fatigue cracking* = 11,994 cm

Titik 2 : Letak analisis kerusakan *permanen deformation* = 52,006 cm

Tabel 1. Nilai *vertical strain*

No. Koor	<i>Vertical Strain</i> pada kedalaman 52.006 cm	<i>Vertical Strain</i> pada kedalaman 11.994 cm
1	0.007662	0.0009355
2	0.007656	0.0009363
3	0.00777	0.0009113
4	0.00766	0.0009356
5	0.00765	0.0009387
Max	0.00777	0.0009387

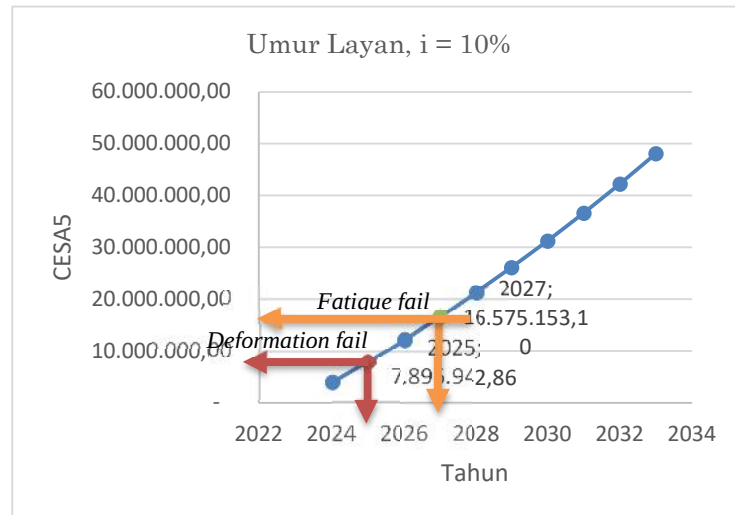
3. Umur Layan Berdasarkan Skenario Lalu Lintas

Analisis dilakukan untuk dua skenario VDF:

- VDF faktual 2 tahun + normal 8 tahun
- VDF faktual 10 tahun

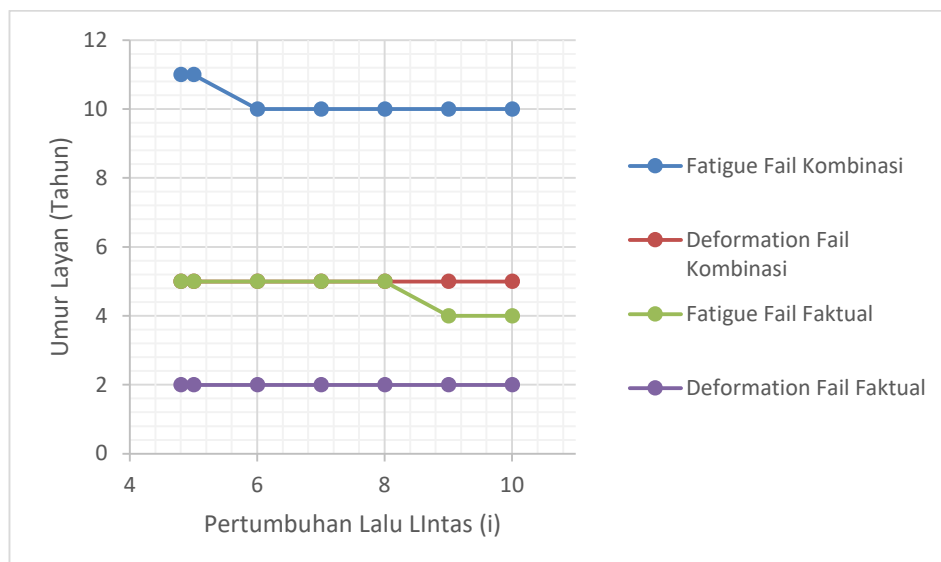
Pada skenario pertama, umur layan terhadap fatigue masih memadai hingga pertumbuhan lalu lintas 5%, namun terhadap rutting, batas keandalan tercapai lebih cepat (sekitar 4,8%). Nilai repetisi beban untuk deformasi permanen (N_d) lebih cepat melampaui nilai CESA dibandingkan nilai fatigue (N_f). Artinya, struktur lebih rentan terhadap kegagalan deformasi dibandingkan kelelahan struktural. Pada skenario VDF faktual 10 tahun, semua variasi pertumbuhan lalu lintas menunjukkan bahwa baik N_f maupun $N_d < N_r$, yang berarti struktur perkerasan tidak andal untuk jangka panjang. Hal ini menjadi perhatian penting karena menunjukkan bahwa asumsi VDF konservatif diperlukan dalam desain. Salah satu hasil penelitian didapatkan grafik

umur layan pada skenario VDF faktual 10 tahun dengan pertumbuhan lalu lintas 10 % dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik umur layan dengan $i = 10\%$ berdasarkan kegagalan fatigue dan deformation permanen VDF faktual 10 tahun

Penurunan umur layan seiring meningkatnya tingkat pertumbuhan lalu lintas. Pola penurunan tersebut lebih curam pada skenario deformasi permanen dibandingkan fatigue. Ini sejalan dengan temuan Yoder & Witzak (1975) yang menyatakan bahwa deformasi plastis pada tanah dasar sangat sensitif terhadap akumulasi beban vertikal berlebih. Hubungan pertumbuhan lalu lintas terhadap umur layan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Hubungan pertumbuhan lalu lintas terhadap umur layan

Gambar 3 menunjukkan hubungan negatif antara pertumbuhan lalu lintas dan umur layan. Korelasi yang kuat mengindikasikan bahwa proyeksi pertumbuhan lalu lintas menjadi faktor penting dalam menentukan ketahanan struktur perkerasan

4. Diskusi terhadap Penelitian Terdahulu

Temuan ini sejalan dengan hasil studi Wang dkk. (2021), yang menekankan pentingnya kesesuaian modulus elastisitas antar lapisan dalam mencegah retak reflektif dan deformasi pada sambungan struktur. Hasil simulasi juga mendukung pendapat Sudarsanan & Kim (2022), bahwa peningkatan ketebalan tanpa mempertimbangkan keragaman lalu lintas dan kondisi subgrade tidak menjamin peningkatan umur layan secara signifikan.

5. Implikasi Teknis dan Rekomendasi

Berdasarkan hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa batas ketahanan deformasi permanen menjadi faktor pembatas utama umur layanan jalan. Oleh karena itu, untuk kondisi lalu lintas berat, diperlukan penguatan lapisan bawah seperti peningkatan ketebalan pondasi atau penggunaan material stabilisasi. Selain itu, nilai VDF perlu dikalibrasi dengan survei aktual secara berkala, karena penggunaan nilai rata-rata saja tidak cukup mewakili kondisi operasional ekstrem. Simulasi berbasis KENPAVE terbukti efektif dalam menggambarkan kinerja struktur perkerasan secara kuantitatif, dan dapat diintegrasikan dalam proses evaluasi desain nasional.

Simpan

Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa ketebalan konstruksi perkerasan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap masa layanan jalan, terutama dalam menghadapi beban lalu lintas yang terus meningkat dan bervariasi. Hasil simulasi numerik dengan pendekatan mekanistik-empirik melalui perangkat lunak KENPAVE memperlihatkan bahwa kegagalan struktur jalan lebih cepat terjadi akibat deformasi permanen dibandingkan kerusakan akibat kelelahan, khususnya pada skenario dengan kombinasi Vehicle Damage Factor (VDF) faktual 2 tahun dan normal 8 tahun. Sementara itu, skenario dengan VDF faktual 10 tahun secara konsisten menunjukkan bahwa umur layan berada di bawah ambang batas kelayakan, yang mengindikasikan perlunya penyesuaian desain yang lebih konservatif. Ketebalan perkerasan yang dirancang dengan metode AASHTO 1993 dan MDP 2024 menghasilkan nilai yang relatif mendekati, namun metode MDP 2024 dinilai lebih representatif terhadap kondisi lapangan karena mempertimbangkan parameter lokal dan perilaku struktural secara lebih rinci. Oleh karena itu, pendekatan desain yang mempertimbangkan variasi lalu lintas aktual dan respons regangan struktural menjadi sangat penting dalam menghasilkan konstruksi jalan yang andal dan berkelanjutan. Temuan ini memberikan kontribusi yang berarti dalam penyusunan kebijakan teknis dan perencanaan infrastruktur jalan yang berbasis performa dan risiko kegagalan struktural.

Daftar Pustaka

- AASHTO. (1993). Guide for design of pavement structures. Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Ahmed, S., Wang, Y., & Kim, Y.R. (2023). Interface behavior of hot mix asphalt layers under repeated traffic loads. *Construction and Building Materials*, 364, 129871–129883.
- Asphalt Institute. (1993). The asphalt handbook (MS-4). Lexington, KY: Asphalt Institute.
- Cheng, Y., Wang, J., & Wu, P. (2022). Mechanistic evaluation of overlay performance for composite pavements. *Journal of Transportation Engineering*, 148(1), 04021124.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2024). Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP 2024). Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Huan, Z. (2002). Rutting behavior of flexible pavements. *International Journal of Pavement Engineering*, 3(1), 1–9.
- Mantiri, C.C., & Sendow, T.K. (2019). Kajian umur rencana jalan berdasarkan evaluasi struktur perkerasan eksisting dengan pendekatan mekanistik. *Jurnal Transportasi*, 19(3), 123–132.
- Sudarsanan, N., & Kim, Y.R. (2022). Impact of construction joint conditions on overlay performance in pavement widening. *Transportation Research Record*, 2676(5), 451–463.
- Ummah, A.N. (2005). Evaluasi ketebalan lapis perkerasan lentur terhadap umur layan jalan berdasarkan nilai CBR dan traffic loading. *Jurnal Jalan dan Jembatan*, 22(2), 45–52.
- Wang, H., Wang, X., & Zhao, Y. (2021). Structural response analysis of old-new pavement interfaces under multi-axial loading. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 33(6), 04021112.
- Yoder, E.J., & Witczak, M.W. (1975). Principles of pavement design (2nd ed.). New York, NY: John Wiley & Sons.