

ANALISIS KERUSAKAN JALAN MENGGUNAKAN PROGRAM *KENPAVE* (STUDI KASUS : RUAS JALAN BANGAK - SIMO KABUPATEN BOYOLALI)

Wahyu Budianto^{*1}, Ahmad Hidayawan², Dhonna Meylida³

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Batik Surakarta, Jl Agus Salim No.10, Kec. Laweyan.
e-mail: ^{*1}Wahyubudianto259@gmail.com, ²hidayawan11@gmail.com, ³dmeylida@gmail.com

Abstrak

Kerusakan jalan akibat beban kendaraan *overload* menjadi permasalahan yang semakin sering terjadi seiring meningkatnya aktivitas transportasi dan distribusi barang yang tidak diimbangi dengan kepatuhan terhadap batas muatan kendaraan. Jalan dirancang dengan batas beban tertentu sesuai spesifikasi teknis, ketika beban tersebut dilampaui secara terus-menerus dapat menyebabkan tekanan berlebih pada lapisan aspal maupun struktur di bawahnya akan mengalami kerusakan kelelahan material dan mengalami penurunan kinerja lebih cepat dari umur rencana. Metode mekanistik-empiris adalah metode perancangan tebal perkerasan yang didasarkan pada penentuan umur perkerasan akibat tegangan dan regangan yang terjadi secara berulang-ulang pada perkerasan hingga terjadi kerusakan. Metode desain tebal perkerasan mekanistik empiris dilandaskan pada mekanika bahan dan menggunakan data-data seperti beban roda dan respon perkerasan yang berupa tegangan dan regangan menggunakan program bantu *Kenpave*. Lendutan permukaan tercatat sebesar 0,05005 mm, yang masih jauh di bawah batas maksimum yang diizinkan yaitu 2,0 mm. Hal ini menunjukkan bahwa perkerasan memiliki kekakuan yang baik dan mampu menahan beban lalu lintas tanpa mengalami deformasi berlebihan. *Horizontal Tensile Strain* (regangan tarik *horizontal*) pada kedalaman 15 cm memiliki nilai 179,0 *microstrain* ($\mu\text{m/m}$). Nilai ini berada di bawah batas yang ditetapkan yaitu 200 μstrain , sehingga risiko terjadinya retak lelah (*fatigue cracking*) pada lapisan permukaan relatif kecil. *Vertical Compressive Strain* (regangan tekan vertikal) pada kedalaman 25 cm tercatat sebesar 569,2 *microstrain* ($\mu\text{m/m}$). kedalaman 55,03 mm tercatat sebesar 313,9 *microstrain* ($\mu\text{m/m}$). Nilai ini melebihi batas yang ditetapkan yaitu 200 μstrain , yang menunjukkan bahwa terdapat potensi kerusakan berupa deformasi permanen (*rutting*) pada lapisan bawah perkerasan. Kondisi ini perlu menjadi perhatian lebih lanjut agar tidak berdampak pada umur layanan perkerasan. *Vertical Compressive Stress* (tegangan tekan vertikal) di permukaan tanah dasar menunjukkan nilai sebesar 850 kPa, yang melebihi batas aman yaitu 100 kPa. Dari hasil perhitungan umur layanan kondisi struktur perkerasan lentur pada ruas Jalan Bangak- Simo berdasarkan kriteria kerusakan *Fatigue Cracking* dan *Rutting* didapat usia perkerasan jalan lentur 2,5 tahun - 5,2 tahun. Setelah usia tersebut perkerasan jalan akan mengalami kerusakan akibat *fatigue cracking* dan *rutting* umur layanan tersebut jauh dari MDPJ 2024 yaitu 20 tahun.

Kata kunci: kerusakan jalan, MDPJ Bina Marga 2017, perkerasan lentur, program *Kenpave*, umur layanan.

Abstract

Road damage caused by overloaded vehicles is becoming an increasingly frequent issue as transportation and goods distribution activities rise without a corresponding adherence to vehicle load limits. Roads are designed with specific load limits based on technical specifications; when these limits are consistently exceeded, the resulting excessive pressure on the asphalt layers and underlying structure leads to material fatigue and a decline in performance well before the end of the design life. The mechanistic-empirical method is a pavement thickness design approach based on determining pavement life by analyzing the repetitive stresses and strains that eventually lead to failure. This method relies on the mechanics of materials and utilizes data such as wheel loads and pavement responses—specifically stress and strain—processed via the Kenpave software. The recorded surface deflection was 0.05005 mm, well below the maximum permissible limit of 2.0 mm. This indicates that the pavement possesses good stiffness and can withstand traffic loads without undergoing excessive deformation. The horizontal tensile strain at a depth of 15 cm was measured at 179.0 microstrain ($\mu\text{m/m}$). This value falls below the established limit of 200 μstrain , suggesting a relatively low risk of fatigue cracking in the surface layer. The vertical compressive strain at a depth of 25 cm was recorded at 569.2 microstrain ($\mu\text{m/m}$), while at a depth of 55.03 mm, it was recorded at 313.9 microstrain ($\mu\text{m/m}$). These values exceed the established limit of 200 μstrain , indicating a potential for damage in the form of permanent deformation (rutting) in the lower pavement layers. This condition warrants further attention to prevent adverse effects on the pavement's service life. The vertical compressive stress at the subgrade surface is 850 kPa, exceeding the safe limit of 100 kPa. Calculations regarding the service life of the flexible pavement structure on the Bangak-Simo road section—based on fatigue cracking and rutting failure criteria—indicate a service life of 2.5 to 5.2 years. Beyond this period, the pavement will suffer damage due to fatigue cracking and rutting; this service life falls far short of the 20-year standard specified in MDPJ 2024. The Abstract section must contain.

Keywords: flexible pavement, Kenpave program, MDPJ Bina Marga 2017, road damage, service life.

1. PENDAHULUAN

Kerusakan jalan akibat beban kendaraan overload menjadi permasalahan yang semakin sering terjadi seiring meningkatnya aktivitas transportasi dan distribusi barang yang tidak diimbangi dengan kepatuhan terhadap batas muatan kendaraan. Banyak pelaku angkutan yang melebihi kapasitas yang telah ditetapkan demi efisiensi biaya dan waktu, tanpa mempertimbangkan dampaknya terhadap infrastruktur jalan. Jalan dirancang dengan batas beban tertentu sesuai spesifikasi teknis, ketika beban tersebut dilampaui secara terus-menerus dapat menyebabkan tekanan berlebih pada lapisan aspal maupun struktur di bawahnya akan mengalami retak, deformasi, dan lubang. Beban berulang dari kendaraan berat yang tidak sesuai standar mempercepat kelelahan material, mengakibatkan permukaan jalan bergelombang (*rutting*) dan mudah terkelupas struktur perkerasan mengalami penurunan kinerja lebih cepat dari umur rencana.

Jalan adalah sarana transportasi darat yang memiliki peran penting dalam mendukung mobilitas manusia dan distribusi barang, serta menjadi bagian dari sistem jaringan transportasi yang terintegrasi (Hasim et al., 2024). Salah satu faktor yang mempengaruhi kinerja suatu perkerasan jalan adalah beban kendaraan yang melintas, baik itu berdasarkan jenis kendaraan, volume kendaraan, ataupun kecepatan kendaraan ketika melintasi jalan. Hal ini tentu harus diperhatikan secara khusus serta dibutuhkan solusi guna mengimbangi antara peningkatan volume kendaraan yang ada dengan pengoptimalisasian kinerja perkerasan itu sendiri (Abdul Hadi & Fauziah, 2022).

Metode yang umum dipakai untuk perencanaan perkerasan jalan diantaranya ialah metode mekanis serta empiris. Model mekanis berdasarkan dengan hukum fisika dasar serta penentuan reaksi perkerasan pada beban roda seperti tegangan dan regangan serta perpindahan. Sementara model empiris dari desain menggunakan perkerasan agar dapat memprediksi umur perkerasan menurut kemampuan perkerasan. Pendekatan berkelanjutan serta lebih logis menggunakan metode mekanik dan empiris bisa menjadi penyelesaian desain jalan efektif, lebih teliti, serta logis (Nannmar & Farida, n.d.).

Penelitian ini akan membahas bagaimana menganalisis kerusakan jalan pada ruas Jalan Bangak-Simo, Simo, Kabupaten Boyolali, Provinsi Jawa Tengah menggunakan program *KENPAVE* untuk mengetahui nilai kerusakannya.

Analisis kerusakan pada program *KENPAVE* yang digunakan ialah kerusakan retak leleh (*fatigue cracking*) serta kerusakan retak alur (*rutting*) dilandaskan nilai Output pada program *KENPAVE* berupa regangan tarik *horizontal* dan regangan tekan vertikal. kerusakan retak leleh (*fatigue cracking*) terjadi karna adanya regangan *horizontal* yang terjadi di lapis aspal diakibatkan dari repetisi beban lalu lintas yang berlebihan dan melampaui batas regangan yg bisa diterima. Sedangkan kerusakan retak alur (*rutting*) terjadi karena perubahan bentuk permanen tiap lapisan perkerasan akibat beban lalu lintas. Dengan demikian, ketebalan perkerasan rencana dan nilai kemampuan jalan untuk mengalami retak leleh dan *rutting* dapat diketahui (Jufri, 2025).

Program *KENPAVE* dikembangkan oleh Prof. Dr. Yang H. Huang, P. E yang mana keluarannya berupa nilai regangan dan nilai tegangan suatu desain perkerasan yang nantinya akan dianalisis lanjut untuk mengetahui prediksi kerusakan berupa *fatigue cracking*, *rutting*, dan permanent deformation sesuai umur masa layanannya (Abdul Hadi & Fauziah, 2022). Menurut (Hakim & Kushari, 2019), program *KENPAVE* merupakan model matematik yang relatif simpel untuk memodelkan struktur perkerasan. Dalam penelitian (Pambudi & Fauziah, 2021), menyebutkan bahwa program *KENPAVE* memudahkan perhitungan nilai tegangan, regangan, dan lendutan di berbagai titik struktur perkerasan jalan yang digunakan untuk menganalisis kerusakan jalan. Penelitian lainnya tentang penggunaan program *KENPAVE* dilakukan oleh (Harsvardan & Tajudin, 2021), menyebutkan bahwa Program *KENPAVE* memiliki kemampuan dalam menganalisis perkerasan lentur dan perkerasan kaku dengan lebih cepat dan lebih mudah, karna cukup dilakukan dengan memasukkan data-data yang dibutuhkan berupa sifat karakteristik perkerasan dan material seperti modulus, poisson ratio setiap lapisan, beban roda, tekanan ban, dan koordinat dimana tegangan dan regangan yang diperlukan untuk kita dapatkan. Lebih lanjut (Panjago et al., 2024), dalam penelitiannya tentang perbandingan desain struktur perkerasan lentur di ruas Jalan Tempel-Pakem Yogyakarta menyebutkan bahwa analisis perkerasan lentur dengan menggunakan program *KENPAVE* dapat memberikan hasil berupa prediksi kerusakan pada setiap lapisan perkerasan jalan sehingga perencanaan perkerasan jalan dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai macam alternatif yang aman dan efisien. Dalam melakukan analisis dengan menggunakan program *KENPAVE* terdapat pemodelan kondisi material yaitu kondisi viskoelastik dan kondisi elastik linear.

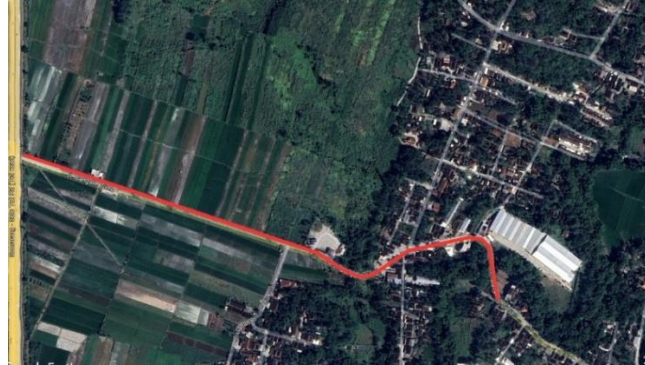
Berdasarkan uraian diatas, maka pada penelitian ini akan dilakukan evaluasi kerusakan dan kinerja perkerasan lentur menggunakan metode mekanistik – empiris program *KENPAVE* dengan permodelan viskoelastik dan elastik. Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat membantu dalam menyediakan perkerasan jalan yang baik dan efisien (Marlina et al., 2023). (Lia et al., 2017)

2. METODE

Metode penelitian menjelaskan **prosedur atau langkah-langkah utama yang dilakukan dalam penelitian**, yang meliputi teknik pengumpulan data, model/metode penelitian, definisi operasional variabel, dan metode analisis data.

2.1 Lokasi Penelitian

Adapun lokasi pelaksanaan penelitian akan dilakukan pada Jalan Kabupaten ruas jalan Bangak – Simo, Kabupaten Boyolali, seperti terlihat dalam gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1. Lokasi Penelitian.

2.2 Pengumpulan Data (*Sub-Bab, Capital Each Word, Italic 12 pt*)

Data yang digunakan pada penelitian ini berupa data primer. Data primer adalah data yang diperoleh dari lokasi rencana pembangunan maupun hasil *survey* yang dapat langsung dipergunakan sebagai sumber dalam analisis perkerasan kerusakan jalan. Dari pengamatan dan survey di lapangan didapat data-data yaitu:

1. Kerusakan jalan aspal.

Tabel 1 Hasil Survei Kerusakan Jalan.

No	Jenis Kerusakan	Dokumentasi Kerusakan	Kategori Kondisi
1	Retak Lelah (<i>Fatigue Cracking</i>)		Buruk > 20%
2	Retak Alur (<i>Rutting</i>)		Buruk > 20%

Sumber: Survei Dilapangan.

3. Karakteristik dan tebal lapisan perkerasan lentur.

Tabel 2 Hasil Survei Ketebalan Perkerasan.

No	Kedalaman (cm)	Keterangan	Karakteristik Material Input
1	4	Lapis permukaan perkerasan AC-WC	Viskoelastis
2	6	Lapis tengah AC-BC	Viskoelastis
3	28	Dasar lapis pondasi LPA agregat 1	Viskoelastis
5	∞	Subgrade	Viskoelastis

Sumber: Pengukuran Dilapangan

4. Poisson Ratio

Tabel 3 Poisson Ratio.

No	Jenis Lapisan	Poisson Ratio
1	AC-WC	0,4
2	AC-BC	0,4
4	LPA A	0,45
5	Subgrade	0,45

Sumber: Bina Marga 2017.

5. Modulus Elastisitas

Tabel 4 Modulus Elastisitas.

No	Jenis Lapisan	Modulus Elastisitas (Kpa)
1	AC-WC	1.100.000
2	AC-BC	1.600.000
3	LPA A	250.000
4	Subgrade	100.800

Sumber: Bina Marga 2017.

6. Jumlah Lintasan Harian Rata-rata (LHR) kendaraan sumbu ganda

Tabel 5 Hasil Survei LHR sumbu ganda.

Waktu	Jenis Kendaraan Truck Sumbu Ganda
06.00-07.00	15
07.00-08.00	21
08.00-09.00	28
09.00-10.00	22
10.00-11.00	16
11.00-12.00	12
12.00-13.00	7
13.00-14.00	34
14.00-15.00	30
15.00-16.00	35
16.00-17.00	14
17.00-18.00	19
18.00-19.00	10
19.00-20.00	26
20.00-21.00	35
21.00-22.00	24
22.00-23.00	27
23.00-00.00	18
00.00-01.00	23
01.00-02.00	20
02.00-03.00	16
03.00-04.00	18
04.00-05.00	9
05.00-06.00	27
Jumlah	506

Sumber : Survei Secara Langsung.

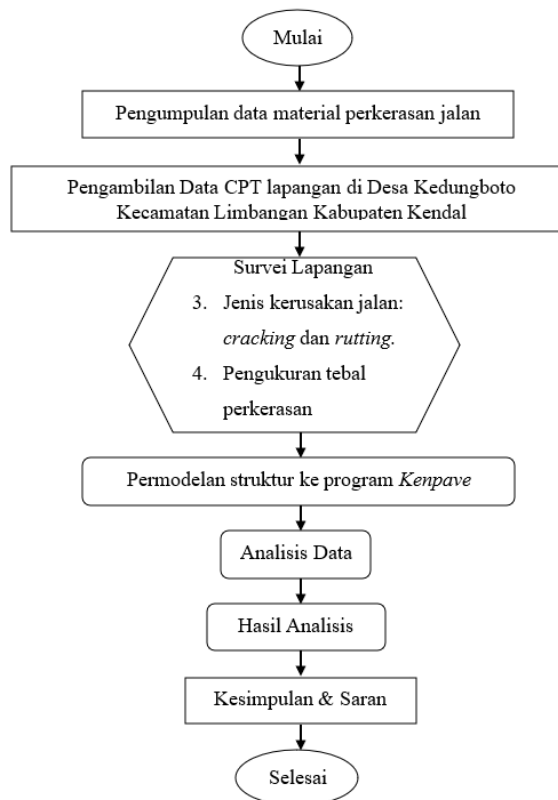
2.3 Metode Analisis

Analisis dan pengolahan data dilakukan berdasarkan data-data yang dibutuhkan, selanjutnya dikelompokkan sesuai identifikasi tujuan permasalahan, sehingga diperoleh analisa pemecahan yang efektif dan terarah yaitu, analisis kerusakan jalan, analisis umur layanan jalan menggunakan program bantu *Kenpave*. Yang diharapkan dari perhitungan tersebut akan ada hasil analisis yang akurat dari penggunaan *software Kenpave* yaitu :

1. Berapa besar nilai regangan tarik (ϵ_t) dan regangan tekan vertikal (ϵ_v) yang terjadi pada kerusakan retak lelah (*fatigue cracking*) struktur perkerasan lentur menggunakan program *Kenpave*.
2. Berapa besar nilai regangan tarik (ϵ_t) dan regangan tekan vertikal (ϵ_v) yang terjadi pada kerusakan retak alur (*fatigue rutting*) struktur perkerasan lentur menggunakan program *Kenpave*.
3. Berapa nilai umur layanan struktur perkerasan lentur terhadap kerusakan retak lelah (*fatigue cracking*) dan retak alur (*fatigue rutting*) struktur perkerasan lentur berdasarkan output program *Kenpave*.

2.4 Bagan Alir Penelitian

Secara ringkas langkah-langkah analisis terdapat dalam diagram dibawah ini:



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian.

7. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisis Struktur perkerasan jalan yang dihasilkan tiga metode tersebut dianalisis menggunakan aplikasi *Kenpave*. Hasil output dari aplikasi *Kenpave* berupa *horizontal strain* (ϵ_t) yang terletak di bawah lapis permukaan, *vertical strain* (ϵ_c) yang terletak di bawah lapis

permukaan dan *vertical strain* (ϵ_c) yang terletak di permukaan tanah dasar. Berikut merupakan hasil output dari aplikasi *Kenpave*.

Tabel 6 Lendutan Permukaan.

Titik Evaluasi	Koordinat	Lendutan Vertikal (cm)
1	0	0.05005
2	0	0.05005
3	0	0.05005

Sumber : Data Pribadi Output Program KENPAVE, 2026

Tabel 7 Regangan Tarik *Horizontal*.

Titik Evaluasi	Kedalaman (cm)	Regangan ($\epsilon_t, \mu\epsilon$)
1	10	1.79E-04
2	10	1.79E-04
3	10	1.79E-04

Sumber : Data Pribadi Output Program KENPAVE, 2026

Tabel 8 Regangan Tekan Vertikal.

Titik Evaluasi	Kedalaman	Regangan ($\epsilon_z, \mu\epsilon$)
1	11.497	5.692E-04
2	11.497	5.692E-04
3	11.497	5.692E-04

Sumber : Data Pribadi Output Program KENPAVE, 2026

Tabel 9 Tegangan Tekan Vertikal.

Titik Evaluasi	Koordinat	Tegangan (kpa)
1	0	850
2	0	850

Sumber : Data Pribadi Output Program KENPAVE, 2026

Tabel 10 Rekapitulasi Nilai Umur Layanan.

Jenis Kerusakan	ESAL	Umur Layanan
<i>Fatigue Cracking</i>	961.825	5,2 tahun
<i>Fatigue Rutting</i>	458.999	2,5 tahun

Sumber : Rekapitulasi Hasil Berdasarkan Perhitungan.

Pembahasan hasil analisis yang dilakukan oleh KenLayer mengeluarkan Output analisis berupa tegangan dan regangan yang terjadi pada perkerasan lentur jalan. Respon yang diberikan untuk roda ganda pada analisis ini berupa lendutan permukaan, *horizontal tensile strain*, *vertical compressive strain* dan *Vertical Compressive Stress*. Merupakan hasil rekapitulasi nilai tegangan dan regangan terbesar dari tiap Layer. Pembahasan hasil output program *Kenpave* dijelaskan pada uraian dibawah ini.

1. Lendutan Permukaan

Lendutan permukaan merupakan salah satu parameter penting dalam evaluasi kinerja perkerasan jalan. Lendutan mencerminkan elastisitas struktur perkerasan terhadap beban lalu lintas yang melintas di atasnya, hasil lendutan permukaan yang dihitung di dua titik evaluasi di kedalaman 0 cm. Nilai lendutan vertikal yang diperoleh sangat kecil, yaitu 0,05005 cm hingga 0,01484 cm. Nilai lendutan ini menunjukkan seberapa besar permukaan perkerasan mengalami penurunan akibat beban lalu lintas. Lendutan yang rendah menunjukkan bahwa struktur perkerasan masih memiliki kekuatan yang cukup untuk menahan beban tanpa mengaami deformasi berlebihan. Lendutan permukaan dapat dilihat pada Tabel 5.8 di bawah ini.

Hasil analisis pada dua titik evaluasi, yaitu titik 1 dan titik 2, yang berada pada koordinat. Nilai lendutan permukaan yang dihasilkan masing-masing sebesar 0,05005 cm pada titik evaluasi 1 dan 0,050051 cm pada titik evaluasi 2. Besarnya lendutan sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain tebal lapisan perkerasan, jenis material yang digunakan, kondisi tanah dasar (*subgrade*), serta besarnya beban lalu lintas. Lendutan yang berlebihan dapat menjadi indikasi adanya kelemahan pada struktur perkerasan, seperti ketidakmampuan lapisan untuk menyebarkan beban, potensi keretakan, atau deformasi permanen yang dapat mempercepat kerusakan jalan. Pengukuran lendutan permukaan umumnya dilakukan dengan alat seperti *Benkelman Beam* atau *Falling Weight Deflectometer* (FWD), yang memberikan data defleksi akibat beban tertentu. Data lendutan ini sangat penting dalam perencanaan pemeliharaan jalan, seperti penentuan kebutuhan overlay (pelapisan ulang), sehingga dapat memperpanjang umur layanan jalan serta meningkatkan kenyamanan dan keselamatan pengguna jalan. Dengan nilai lendutan yang relatif kecil pada pengujian ini, dapat disimpulkan bahwa perkerasan dalam kondisi baik, masih memiliki kapasitas struktural yang memadai, dan tidak mengalami deformasi berlebih. Hal ini menjadi indikasi positif bahwa perkerasan mampu menahan beban lalu lintas yang bekerja di atasnya.

2. *Horizontal Tensile Strain* (Regangan Tarik *Horizontal*)

Regangan tarik *horizontal* pada lapisan perkerasan lentur merupakan parameter penting dalam evaluasi kinerja struktur perkerasan. Nilai regangan ini menunjukkan seberapa besar lapisan aspal mengalami tarikan akibat beban kendaraan yang bekerja di atasnya. Semakin tinggi nilai regangan tarik, semakin besar potensi terjadinya retak kelelahan (*fatigue cracking*) pada lapisan aspal, yang menjadi salah satu penyebab Utama kerusakan dini perkerasan jalan. Hasil perhitungan regangan tarik *horizontal* (*Horizontal Tensile Strain*) pada lapisan perkerasan lentur. Nilai regangan tarik *horizontal* tercatat sebesar $-155,0 \mu\epsilon$ di titik 1 dan $-162,7 \mu\epsilon$ di titik 2. Regangan tarik *horizontal* ini menjadi parameter penting karena berkaitan langsung dengan potensi terjadinya retak kelelahan (*fatigue cracking*) pada lapisan aspal. Nilai regangan maksimum dari titik 1, yaitu sebesar $162,7 \mu\epsilon$, digunakan sebagai dasar dalam perhitungan umur lelah perkerasan (N_f). Nilai regangan yang rendah mengindikasikan resiko kerusakan akibat kelelahan masih dalam batas aman.

3. Regangan tekan vertikal (*Vertical Compressive Strain*)

merupakan salah satu parameter penting dalam analisis struktur perkerasan jalan, karena nilai regangan tekan berkaitan langsung dengan potensi terjadinya deformasi permanen atau *rutting* pada lapisan tanah dasar (*subgrade*). Nilai regangan tekan yang tinggi dapat menunjukkan resiko terjadinya kerusakan struktural akibat penurunan daya dukung tanah dasar. Pada Gambar 5.5 ditampilkan hasil analisis regangan tekanan vertikal di dua titik evaluasi. Titik pertama menunjukkan nilai regangan sebesar $291,0 \mu\epsilon$, sedangkan titik kedua mencatat nilai yang lebih tinggi, yaitu sebesar $313,9 \mu\epsilon$. Dari kedua titik tersebut, digunakan nilai regangan maksimum sebesar $313,9 \mu\epsilon$ pada titik 2 sebagai dasar perhitungan umur daya dukung tanah dasar (N_d). Regangan Tekan dapat dilihat pada Tabel 5.7.

4. *Vertical Compressive Stress* (Tegangan Tekan Vertikal Maksimum)

Tegangan tekan vertikal (*Vertical Compressive Stress*) merupakan salah satu parameter penting dalam analisis struktur perkerasan jalan, karena nilai tegangan ini berkaitan langsung dengan potensi terjadinya deformasi permanen (*rutting*) di lapisan perkerasan maupun tanah dasar (*subgrade*). Semakin tinggi nilai tegangan vertikal, semakin besar kemungkinan lapisan bawah mengalami kerusakan akibat beban lalu lintas yang berulang. Hasil analisis menggunakan software *Kenpave* menunjukkan distribusi nilai tegangan tekan vertikal pada beberapa kedalaman. Dari Gambar 5.5, nilai tegangan vertikal tertinggi terjadi pada koordinat

0 cm dititik evaluasi 1, yaitu sebesar 550,000 kPa. Tegangan ini terjadi tepat dibawah posisi roda ganda kendaraan, sehingga menjadi titik kritis dalam desain perkerasan.

8. KESIMPULAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil analisis nilai regangan berdasarkan kerusakan *fatigue cracking* pada struktur perkerasan hasil analisis menunjukkan bahwa nilai regangan tarik *horizontal* (ϵ_t) pada dasar lapisan aspal mencapai maksimum sebesar 179,0 $\mu\epsilon$,
2. Hasil analisis nilai regangan tekan vertikal (ϵ_v) berdasarkan kerusakan *fatigue rutting* di atas tanah dasar mencapai maksimum sebesar 569,2 $\mu\epsilon$.
3. Dari hasil perhitungan umur layanan kondisi struktur perkerasan lentur pada ruas Jalan Bangak- Simo berdasarkan kriteria kerusakan *Fatigue Cracking* didapat usia perkerasan jalan lentur 5,2 tahun. Berdasarkan kriteria kerusakan *Fatigue Rutting* didapat usia perkerasan jalan lentur 2,5 tahun. Setelah usia tersebut perkerasan jalan akan mengalami kerusakan akibat *fatigue rutting* umur layanan tersebut jauh dari MDPJ 2024 yaitu 20 tahun.

Saran

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan perbaikan pada bagian *subgrade* karena kondisi lapisan tanah dasar (*subgrade*) menunjukkan penurunan daya dukung yang berpotensi menyebabkan lendutan berlebihan dan kerusakan permukaan jalan, maka perlu dilakukan perbaikan pada bagian *subgrade*. Perbaikan dapat dilakukan melalui penggantian material tanah yang memiliki daya dukung rendah dengan yang lebih baik, serta peningkatan kepadatan lapisan *subgrade* agar mampu menahan beban lalu lintas sesuai rencana umur layanan jalan. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan stabilitas perkerasan lentur, mengurangi resiko kerusakan *fatigue cracking* dan *rutting*, serta memperpanjang umur layanan perkerasan.
2. Pemeliharaan dan monitoring berkala Jalan Bangak – Simo perlu dilakukan pemeliharaan secara berkala, terutama terhadap gejala *rutting* yang muncul pada permukaan jalan. Monitoring kondisi jalan secara periodik juga diperlukan untuk mencegah kerusakan berkembang menjadi lebih parah.
3. Analisis dengan model material lain penelitian lanjutan disarankan menggunakan pendekatan viskoelastis atau non-linear elastis, agar hasil perhitungan lebih realistis terutama dalam memodelkan material aspal yang sifatnya tidak sepenuhnya linier.
4. Kombinasi dan komparasi *software* penggunaan program lain seperti *EverStress*, *BISAR*, atau *Mladen's Tool* dapat digunakan sebagai pembandingan untuk melihat konsistensi hasil dari *Kenpave*. Hal ini akan memperkuat validitas hasil analisis dan mendukung proses pengambilan keputusan dalam desain jalan.
5. Integrasi data lalu lintas lebih detail dalam penelitian selanjutnya, disarankan untuk menggunakan data lalu lintas real- time yang diperoleh dari alat penghitungan otomatis (*automatic traffic counter*) atau sistem WIM (*Weigh-In-Motion*), agar perhitungan beban lalu lintas lebih akurat dan memperkuat hasil perencanaan umur layanan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Hadi, M., & Fauziah, M. (2022). Studi Komparasi Prediksi Umur Pelayanan Antara Campuran Superpave Dan Ac-Wc Menggunakan Permodelan Viskoelastik Dan Elastik. *Teknisia*, 27(2), 71–82.
- Hakim, I. N., & Kushari, B. (2019). Kaji Ulang Desain Tebal Perkerasan Lentur Pada Ruas Jalan Pakem-Prambanan Untuk Mengantisipasi. *Konferensi Nasional Inovasi Lingkungan Terbangun*, 2013(02), 1–8.
- Harsvardan, V. R., & Tajudin, A. N. (2021). Desain Ulang Dan Analisis Respons Struktural Perkerasan Lentur Pada Jalan Tol Jakarta-Cikampek. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 4(1), 109.
- Hasim, A., Pramesti, F. P., & Setyawan, A. (2024). *Evaluasi Perkerasan Kaku Jalan Desa dengan Program KENPAVE di Wilayah Kecamatan Ngambon Kabupaten Bojonegoro*. 2(1), 1–8.
- Jufri, A. (2025). Keandalan Ketebalan Konstruksi Terhadap Masa Layanan Berdasarkan Fatigue dan Lendutan Pada Kasus Jalan BTS Kampar – BTS Kota Bangkinang. *Jurnal ARTI (Aplikasi Rancangan Teknik Industri)*, 20(2), 153–158.
- Lia, N., Jurusan, D., Sipil, T., Teknik, F., & Surabaya, U. N. (2017). *APLIKASI KENPAVE (Studi Kasus Jalan Lintas Selatan Lot 6 Tulungagung) Purwo Mahardi Abstrak*. 1–10.
- Marlina, E., Frans, J. H., & Nasjono, J. K. (2023). Analisis Tebal Perkerasan Lentur Metode Bina Marga Program Kenpave. *Jurnal Teknik Sipil*, 12(2), 173–184.
- Nannmar, I., & Farida, I. (n.d.). *Evaluasi Tebal Perkerasan Jalan untuk Menahan Beban Rencana Lalu Lintas*. (1).
- Pambudi, R. A., & Fauziah, M. (2021). Evaluasi Perancangan Struktur Perkerasan dengan Metode Bina Marga 2017 dan Program KENPAVE Menggunakan Pendekatan Elastik dan Viskoelastik. *Prosiding Seminar Nasional Hasil Penelitian Dan Pengabdian Masyarakat*, 303–314.
- Panjago, F., Hadi, M. A., Sipil, J. T., & Indonesia, U. I. (2024). MENGGUNAKAN PROGRAM KENPAVE DENGAN. *Wahana Teknik Sipil: Jurnal Pengembangan Teknik Sipil*, 29(2), 297–308.