

# Analisis Prediksi Umur Sisa Struktur Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Mekanistik-Empirik pada Jalan Milir-Sentolo Ruas Timur

M. Alfi<sup>1</sup>, S. H. T. Utomo<sup>1\*</sup>, L. B. Suparma<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Magister Sistem dan Teknik Transportasi, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA

<sup>2</sup>Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA

\*Corresponding author: suryohapsoro@ugm.ac.id

## INTISARI

Ruas Jalan Milir-Sentolo merupakan ruas jalan Nasional Rute 3 dengan kelas jalan Arteri I terletak di Kabupaten Kulon Progo yang berfungsi sebagai jalan akses utama menuju bandara Yogyakarta *International Airport* (YIA) dan jalan penghubung provinsi DI Yogyakarta dengan provinsi lainnya yang berperan penting dalam mendukung pertumbuhan ekonomi. Hal ini dapat menyebabkan jumlah kendaraan yang melewati mengalami peningkatan yang dapat menyebabkan terjadinya kerusakan pada perkerasan jalan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai umur sisa perkerasan agar dapat memberikan pedoman dalam menentukan alternatif penanganan kerusakan jalan. Metode yang digunakan untuk menentukan prediksi umur sisa perkerasan yaitu mekanistik-empirik dengan menggunakan program KENPAVE dan metode *backcalculation* menggunakan program ELMOD 6.0 untuk mengetahui nilai modulus elastisitas tiap lapis perkerasan. Penelitian ini menghasilkan nilai modulus elastisitas pada lapis HMA sebesar 986,2 MPa, pada lapis *base* sebesar 88,3 MPa, dan pada lapis *subgrade* sebesar 48,0 MPa dengan nilai prediksi kerusakan *fatigue* sebesar 20.420.832 ESAL dengan umur sisa 23 tahun, nilai prediksi kerusakan *rutting* sebesar 4.352.121 ESAL dengan umur sisa 5 tahun, dan nilai prediksi kerusakan *permanent deformation* sebesar 203.636 ESAL dengan umur sisa 0 tahun.

Kata kunci: umur sisa, *backcalculation*, ELMOD 6.0, mekanistik-empirik.

## 1 PENDAHULUAN

Ruas Jalan Milir-Sentolo termasuk ruas jalan Nasional Rute 3 yang terletak di Kabupaten Kulon Progo dengan kelas jalan Arteri I dengan panjang  $\pm 7,9$  km. Ruas Jalan Milir-Sentolo merupakan jalan akses utama menuju bandara Yogyakarta *International Airport* (YIA) dan jalan penghubung provinsi DI Yogyakarta dengan provinsi lainnya sehingga jalan ini berfungsi sebagai jalur distribusi manusia, barang, dan jasa. Hal ini menyebabkan jumlah kendaraan yang melewati mengalami peningkatan yang dapat menyebabkan terjadinya kerusakan pada perkerasan jalan. Pada tahun 2021 dilakukan pekerjaan rekonstruksi dengan menggunakan jenis perkerasan lentur (*flexible pavement*) guna sebagai langkah dalam usaha memenuhi kebutuhan atas kondisi jalan yang baik.

Seiring berjalannya waktu, beban lalu lintas dapat menyebabkan terjadinya penurunan kualitas jalan dan kerusakan pada konstruksi jalan. Untuk menjaga kemantapan struktur perkerasan jalan perlu dilakukannya preservasi jalan. Dalam pemilihan metode preservasi jalan dapat dilakukan dengan mengevaluasi keandalan struktur perkerasan dengan memprediksi sisa umur struktur perkerasan. Mekanistik-empirik merupakan metode prediksi umur sisa struktur perkerasan lentur dengan salah satu parameter *input* berupa modulus elastisitas. Dalam menentukan nilai modulus elastisitas perkerasan dapat menggunakan metode *backcalculation* dengan program ELMOD 6.0.

Proses evaluasi struktur perkerasan membutuhkan data modulus perkerasan yang dapat dihitung dari data lendutan melalui proses *backcalculation*. *Backcalculation* merupakan proses perhitungan balik dari data lendutan untuk memperoleh nilai modulus elastisitas. Nilai lendutan yang dimasukkan dalam proses *backcalculation* merupakan hasil dari pengujian *Falling Weight Deflectometer* (FWD). Nilai lendutan tersebut menjadi *input* dalam analisis *backcalculation* (Rahmawati dkk. 2022), yang pada studi ini menggunakan program aplikasi ELMOD 6.0. Hasil analisis *backcalculation* dengan program ELMOD akan menghasilkan *output* berupa *backcalculated moduli* (modulus elastisitas hasil *backcalculation*).

Dalam analisis struktur perkerasan lentur, mekanistik-empirik merupakan pendekatan berdasarkan karakteristik material dan kaidah teoritis, dengan didukung oleh respons struktur perkerasan dari perhitungan secara eksak terhadap beban sumbu kendaraan. Metode ini terdiri atas dua bagian, yang pertama yaitu mekanistik berupa hubungan

antara respons struktur jalan (tegangan, regangan dan lendutan) dengan parameter *input* desain berdasarkan sifat-sifat mekanika bahan perkerasan. Kemudian bagian kedua yaitu hubungan antara respons struktur perkerasan dengan jumlah lintasan beban lalu lintas (Suwanda dan Kushari 2019). Metode mekanistik-empirik dapat digunakan sebagai prediksi kerusakan dengan menghubungkan antara beban dengan material *properties* yang berkaitan respons struktur dengan jenis kerusakan tertentu akibat beban sumbu kendaraan (Fahrurrozi dkk. 2020).

## 2 METODE PENELITIAN

Penelitian ini dimulai dari pengumpulan data dan literatur yang terkait dengan analisis mekanistik-empirik menggunakan program KENPAVE dan analisis *backcalculation* menggunakan program ELMOD 6.0. Data yang digunakan pada penelitian ini yaitu data primer dan sekunder. Data primer berupa hasil survei lapangan nilai temperatur *surface* perkerasan eksisting dan data sekunder yang dikumpulkan dari Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional (BBPJN) Jawa Tengah – DI Yogyakarta berupa data material dan tebal struktur perkerasan berupa *as built drawing*, data lalu lintas harian terbaru yaitu tahun 2022, data hasil pengujian *Falling Weight Deflectometer* (FWD) tahun 2023, dan data hasil pengujian modulus elastisitas lapis perkerasan dari penelitian terdahulu. Perhitungan nilai *Cumulative Equivalent Single Axle Load* (CESAL) pada analisis lalu lintas dilakukan berdasarkan Manual Desain Perkerasan Jalan (MDPJ) (2017), dapat dilihat pada Persamaan (1).

$$ESA_{TH-1} = (\sum LHR_{JK} \times VDF_{JK}) \times 365 \times DD \times DL \times R \quad (1)$$

dimana  $ESA_{TH-1}$  adalah kumulatif lintasan sumbu standar ekuivalen pada tahun pertama,  $\sum LHR_{JK}$  adalah lintas harian rata – rata (LHR) tiap jenis kendaraan,  $VDF_{JK}$  adalah *vehicle damage factor* (VDF) tiap jenis kendaraan,  $DD$  adalah faktor distribusi arah,  $DL$  adalah faktor distribusi lajur,  $CESAL$  adalah kumulatif beban sumbu standar ekivalen selama umur rencana, dan  $R$  adalah faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif.

Analisis *backcalculation* pada penelitian ini menggunakan program ELMOD 6.0. *Input* pada program ELMOD 6.0 berupa nilai *seed moduli* (modulus elastisitas dugaan awal), nilai tebal lapis perkerasan, dan data lendutan hasil pengujian FWD. Nilai *seed moduli* pada lapis HMA ditentukan berdasarkan hasil penelitian terdahulu dengan menggunakan temperatur perkerasan eksisting hasil survei lapangan. Menurut Huber (1994) dalam desain perkerasan tinggi, temperatur yang digunakan yaitu temperatur perkerasan yang ditinjau pada kedalaman 20 mm (0,7874 inch) dari permukaan perkerasan. Nilai temperatur perkerasan tidak sama dengan nilai temperatur *surface* perkerasan, sehingga dapat dicari dengan Persamaan (2).

$$T_d = T_{surf} (1 - 0,063d + 0,007d^2 - 0,0004d^3) \quad (2)$$

dimana  $T_d$  adalah temperatur perkerasan,  $T_{surf}$  adalah temperatur *surface*, dan  $d$  adalah kedalaman.

*Seed moduli* pada lapis *base* ditentukan berdasarkan FHWA (2017) dan lapis *subgrade* menggunakan nilai Modulus Resilien ( $M_R$ ) yang dihitung berdasarkan AASHTO (1993) yang dapat dilihat pada Persamaan (3).

$$M_R = 1500 \times CBR \quad (3)$$

dimana  $M_R$  adalah modulus resilien dan  $CBR$  adalah *California Bearing ratio*.

Analisis pada ELMOD 6.0 menggunakan pendekatan *deflection basin fit* dengan *output* berupa nilai *backcalculated moduli* dan nilai RMS. Nilai RMS umumnya berkisar antara 2% hingga 3% dari nilai ambang. Nilai *backcalculated moduli* di validasi berdasarkan FHWA (2017), dengan mempertimbangkan kesesuaian dengan nilai *reasonable backcalculated moduli* yaitu berada pada rentang 0,25 hingga 5 kali nilai *seed moduli*. Hasil ini kemudian dimasukkan kedalam perhitungan persentil dengan memisahkan nilai *outliers*. Berdasarkan Wirawan (2016) analisis persentil dilakukan dengan menentukan letak persentil ke- $x$  dan nilai persentil ke- $x$  yang dapat dilihat pada Persamaan (4) dan Persamaan (5).

$$L_{px} = \frac{x(n+1)}{100} \quad (4)$$

dimana  $L_{px}$  adalah letak persentil ke- $x$ ,  $x$  adalah persentil ke- $x$ , dan  $n$  adalah jumlah data.

$$P_x = x_i + k(x_{(i+1)} - x_i) \tag{5}$$

dimana  $P_x$  adalah persentil ke-x,  $x_i$  adalah nilai pada data ke-x, dan  $k$  adalah bilangan pecahan atau desimal kurang dari 1.

Metode Mekanistik-empirik pada penelitian ini menggunakan program KENPAVE dengan input berupa karakteristik material perkerasan dan beban kendaraan. *Output* dari program KENPAVE berupa nilai tegangan dan regangan dari perkerasan akibat beban kendaraan. Kemudian nilai regangan maksimum yang terjadi pada titik tinjau diambil dan dihitung menggunakan *The Asphalt Institute* (1982) berdasarkan kerusakan *fatigue*, *rutting*, dan *permanent deformation* yang dapat dilihat pada Persamaan (6), Persamaan (7), dan Persamaan (8).

$$N_f = 0,0796(\varepsilon_t)^{-3,921} |E^*|^{-0,854} \tag{6}$$

dimana  $N_f$  adalah jumlah nilai repetisi beban yang diizinkan untuk mengontrol *fatigue cracking*,  $\varepsilon_t$  adalah regangan tarik pada bagian bawah lapis permukaan, dan  $E^*$  adalah modulus elastis pada lapisan permukaan perkerasan.

$$N_d = 1,365 \times 10^{-9} (\varepsilon_c)^{-4,477} \tag{7}$$

dimana  $N_d$  adalah jumlah nilai repetisi beban yang diizinkan untuk mengontrol *rutting* dan  $\varepsilon_c$  adalah regangan tekan vertikal diatas lapis dasar.

$$N_d = 1,365 \times 10^{-9} (\varepsilon_c)^{-4,477} \tag{8}$$

dimana  $N_d$  adalah jumlah nilai repetisi beban yang diizinkan untuk mengontrol *permanent deformation* dan  $\varepsilon_c$  adalah regangan tekan vertikal di atas lapis dasar.

Dari analisis kerusakan kemudian dihitung nilai *remaining life* (RL) berdasarkan AASHTO (1993) yang dapat dilihat pada Persamaan (9).

$$RL = 100 \left[ 1 - \left( \frac{N_p}{N_{1,5}} \right) \right] \tag{9}$$

dimana  $RL$  adalah remaining life (%),  $N_p$  adalah total *traffic* yang telah melewati perkerasan, dan  $N_{1,5}$  adalah total *traffic* pada kondisi perkerasan mengalami kegagalan atau *failure*.

### 3 HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Analisis Lalu Lintas

Data lalu lintas pada ruas Jalan Milir-Sentolo ruas Timur merupakan data sekunder yang didapat berdasarkan laporan Satuan Kerja P2JN DIY. Penelitian ini menggunakan tahun 2023 sebagai tahun awal analisis, sedangkan data lalu lintas yaitu pada tahun 2022, maka dilakukan penyesuaian ke tahun 2023 menggunakan faktor laju pertumbuhan lalu lintas (i) MDPJ (2017) yaitu sebesar 4,8%. Pada setiap kelompok kendaraan digunakan nilai DD yaitu 0,5, DL yaitu 1, dan R yaitu 20,09. VDF 4 dan VDF 5 ditentukan berdasarkan jenis kendaraan. Pada Analisis lalu lintas, perhitungan dilakukan pada CESA 4 dan CESA 5 berdasarkan MDPJ (2017) menggunakan Persamaan (1), sehingga didapatkan hasil yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi lalu lintas harian rata-rata Jalan Milir-Sentolo ruas Timur tahun 2023.

Kel.	Gol.	Jenis Kendaraan	VDF 4	VDF 5	LHR/Hari	CESA 4	CESA 5
1	2, 3, 4	Mobil, angkutan umum, dll	-	-	7119	-	-
2	5a	Bus kecil	0,3	0,2	278	305.803	203.869
3	5b	Bus besar	1	1	52	190.668	190.668
4	6a	Truk 2as (4 roda)	0,55	0,5	79	159.318	144.835
5	6b	Truk 2as (6 roda)	4	5,1	807	11.836.082	15.091.005
6	7a	Truk 3as	4,7	6,4	35	603.171	821.340
7	7b	Truk Gandeng	9,4	13	3	103.401	143.001
8	7c	Trus Trailer 4As, 5As, 6As	7,4	9,7	12	325.603	426.803
Total						13.524.046	17.021.521

### 3.2 Analisis *Backcalculation* Menggunakan Program ELMOD 6.0

#### 3.2.1 Data lendutan

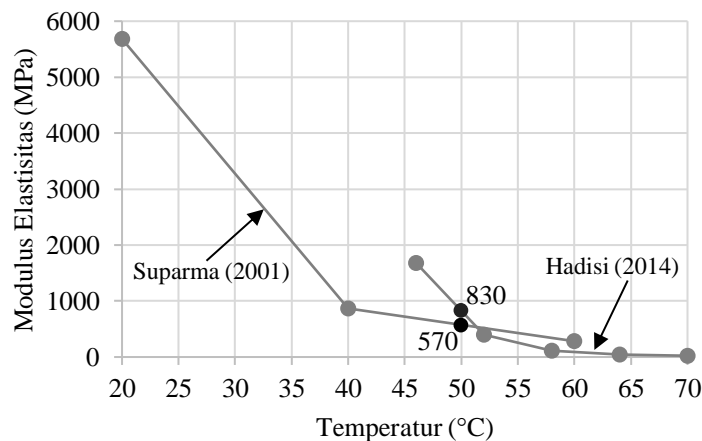
Data lendutan hasil pengujian FWD Jalan Milir- Sentolo ruas Timur dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data FWD Jalan Milir- Sentolo ruas Timur (BBPJN Jawa Tengah – DI Yogyakarta, 2023).

Station	As Temp (°C)	Surf Temp (°C)	Drop ID	Stress (kPa)	Force (kN)	d1 (µm)	d2 (µm)	d3 (µm)	d4 (µm)	d5 (µm)	d6 (µm)	d7 (µm)
0+008	34,6	35,1	2	519	36,65	669,5	564,1	489	395,6	307,3	195,2	114
1+005	34,6	51,1	2	541	38,24	621,5	515,8	430,8	341,1	259,3	157,3	91,2
2+007	34,6	47,7	2	510	36,01	854,9	698,4	573,5	429	322,5	177,5	122,1
3+000	34,6	46,6	2	522	36,92	1129,4	809,7	616,5	426,6	306,8	174,5	92,7
3+500	34,6	49,1	2	524	37,04	899	710,3	601,8	461,1	342,9	218,6	153,3
4+000	34,6	51,1	2	539	38,06	227,8	156,5	128,3	108,7	95,7	77,1	63,3
5+010	34,6	36,6	2	539	38,1	359,1	244,7	177,1	105,9	60,3	12,6	0
5+995	34,6	56,8	2	527	37,25	409,1	359,1	320	274	230,9	162,6	112,1
7+006	34,6	50,2	2	539	38,1	569,2	476,2	407,3	326,2	251,7	160,3	101,9
7+860	34,6	54,7	2	543	38,38	556,9	475,7	408,8	329,2	259,7	167,9	103,8

#### 3.2.2 *Seed moduli*

Dalam menentukan *seed moduli* khususnya pada HMA, nilai modulus elastisitas terhadap temperatur perkerasan dari hasil pengujian laboratorium dijadikan pertimbangan sebagai salah satu pendekatan dikarenakan nilai *seed moduli* yang tersedia pada FHWA (2017) merupakan nilai *seed moduli* pada kondisi temperatur normal yaitu 25°C (77°F) sedangkan nilai temperatur *surface* perkerasan eksisting hasil survei lapangan, didapatkan hasil yaitu 53,5°C (128,3°F). Nilai temperatur perkerasan dihitung menggunakan Persamaan (2) dimana nilai  $T_{surf}$  yaitu 128,3°F dan  $d$  yaitu 0,7874 inch, sehingga didapatkan hasil nilai temperatur perkerasan ( $T_d$ ) yaitu 122,5°F  $\approx$  50°C. Nilai *seed moduli* pada lapis HMA dicari menggunakan grafik dari hasil pengujian dari penelitian terdahulu yang telah dilakukan oleh Suparma (2001) dan Hadisi (2014) dengan tinjauan pada temperatur perkerasan dari hasil perhitungan yaitu sebesar 50°C yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik hubungan modulus elastisitas dengan temperatur (Suparma 2001) dan (Hadisi 2014)

Dari grafik Gambar 1 didapatkan hasil nilai modulus elastisitas pada temperatur perkerasan 50°C yaitu sebesar 570 MPa dan 830 MPa. Nilai ini digunakan sebagai batasan atau *range* nilai *seed moduli* lapis HMA pada *input* program ELMOD 6.0. Pada lapisan *base*, nilai *seed moduli* menggunakan nilai berdasarkan FHWA (2017) dengan jenis material *Crushed stone or gravel Sand* dengan rentang nilai 200-345 MPa, sedangkan nilai *seed moduli* pada lapisan *subgrade* dihitung menggunakan Persamaan (3) dengan nilai *California Bearing Ratio* (CBR) menggunakan nilai CBR rencana minimum berdasarkan MDPJ (2017) yaitu 6% sehingga didapatkan hasil nilai Modulus Resilien ( $M_R$ ) yaitu 9000 psi  $\approx$  62 MPa.

### 3.2.3 Analisis program ELMOD 6.0

Dari analisis menggunakan program ELMOD 6.0, nilai *seed moduli* yang digunakan berdasarkan *trial and error* untuk mendapatkan hasil nilai modulus elastisitas dengan nilai RMS 2% hingga 3% atau mendekati dan masuk pada *reasonable moduli* yaitu 0,25 hingga 5 kali nilai *seed moduli*. Hasil nilai *backcalculated moduli* dan nilai RMS yang di validasi dengan *reasonable backcalculated moduli* yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Analisis ELMOD 6.0.

No	STA	Seed Moduli			Backcalculated Moduli			RMS (%)	Check Reasonable Moduli		
		HMA MPa	Base MPa	Subgrade MPa	HMA MPa	Base MPa	Subgrade MPa		HMA	Base	Subgrade
1	0+500				986.17	95.00	36.10	9.3	Ok	Ok	Ok
2	1+500				1193.45	77.00	41.74	5.5	Ok	Ok	Ok
3	2+580				653.88	64.34	31.64	8.2	Ok	Ok	Ok
4	3+000				321.56	96.86	25.46	12.3	Ok	Ok	Ok
5	3+500	830	250	62	576.56	23.89	71.78	2.4	Ok	Not Ok	Ok
6	4+000				999.10	4798.59	194.58	6.2	Ok	Not Ok	Ok
7	4+495				628.80	51.68	70.78	48.7	Ok	Not Ok	Ok
8	5+490				1799.43	198.24	72.10	5.2	Ok	Ok	Ok
9	6+500				1275.67	81.64	52.37	3	Ok	Ok	Ok
10	7+500				1372.40	99.89	48.04	4.2	Ok	Ok	Ok

Berdasarkan Tabel 3 dapat diketahui bahwa nilai *backcalculated moduli* yang masuk ke dalam nilai *reasonable moduli* (“Ok”) lebih banyak dari pada yang tidak masuk ke dalam nilai *reasonable moduli* (“Not Ok”). Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Rahmawati (2022) nilai *backcalculated moduli* atau modulus elastisitas hasil analisis *backcalculation* tetap digunakan pada analisis persentil meskipun nilai *backcalculated moduli* tidak masuk pada syarat RMS dan *reasonable moduli*, namun pada penelitian ini nilai *backcalculated moduli* yang digunakan dalam analisis persentil yaitu hanya yang memenuhi syarat *reasonable moduli* dan tidak memasukkan data yang merupakan *outliers*. Untuk menentukan nilai modulus elastisitas yang mewakili suatu ruas jalan pada penelitian ini dilakukan analisis persentil dengan menggunakan P<sub>50</sub> atau median, hal ini sebabkan jumlah data ≤ 10.

Dengan melakukan analisis persentil menggunakan Persamaan (4) dan Persamaan (5) pada tiap jenis *layer*, maka dihasilkan rekapitulasi nilai *backcalculated moduli* hasil analisis persentil pada tiap lapis perkerasan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Modulus Elastisitas Perkerasan

Layer	Jenis Layer	Backcalculated Moduli (MPa)
1	HMA	986,2
2	Base	88,3
3	Subgrade	48,0

Berdasarkan analisis yang dilakukan, menunjukkan hasil nilai *backcalculated moduli* pada lapis HMA sebesar 986,2 MPa, pada lapis *base* sebesar 88,3 MPa, dan pada lapis *subgrade* sebesar 48,0 Mpa. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin ke bawah lapisan layer maka nilai *backcalculated moduli* yang dihasilkan semakin kecil dengan nilai terbesar terdapat pada *layer* 1 berjenis HMA, dan terkecil terdapat pada *layer* 3 berjenis *subgrade*.

### 3.3 Analisis Mekanistik-Empirik Menggunakan KENPAVE

#### 3.3.1 Analisis program KENPAVE

Pada penelitian ini analisis mekanistik-empirik menggunakan program KENPAVE dengan sub program KENLAYER. Tahapan analisis dimulai dengan melakukan *input* pada *menu general* dengan nilai seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai *input* pada *menu general*.

Istilah	Nilai	Keterangan
<i>Title</i>	Milir Sentolo Timur	Diisi sesuai nama Jalan dan Ruas
<i>MATL</i>	1	Pada analisis lapis perkerasan adalah linier
<i>NDAMA</i>	0	Tidak ada analisis kerusakan
<i>NYP</i>	1	Analisis pada satu kali umur rencana
<i>NLG</i>	1	Nilai kelompok beban kendaraan yang akan dianalisis.
<i>DEL</i>	0,001	Hasil akan dengan menunjukkan nilai desimal satu per seribu
<i>NL</i>	4	Jumlah lapisan perkerasan adalah 4 (AC-WC, AC-BC, <i>base</i> , <i>subgrade</i> )
<i>NZ</i>	6	Jumlah titik kerusakan yang analisis
<i>ICL</i>	80	Nilai <i>actual number of cycles</i> (rekomendasi dari program KENPAVE)
<i>NSDT</i>	9	Direkomendasikan 9 ketika menggunakan <i>damage analysis</i>
<i>NBONT</i>	1	Antar lapisan saling mengikat ( <i>bounded material</i> )
<i>NLBT</i>	1	Banyak lapisan yang akan dianalisis untuk <i>bottom tension</i>
<i>NLTC</i>	1	Banyak lapisan yang akan dianalisis untuk <i>top compression</i>
<i>NUNIT</i>	1	Menggunakan satuan SI (Standar Internasional)

Selanjutnya melakukan *input* pada *menu Zcoord*. Data yang dimasukkan yaitu jarak titik tinjauan kerusakan dari permukaan perkerasan. *Input* nilai titik tinjau kerusakan pada *menu Zcoord* dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Data *input* *menu Zcoord*.

No.	Kedalaman (cm)	Keterangan
1	0	Permukaan AC-WC
2	4	<i>Interface</i> lapis AC-WC dan AC-BC
3	21,998	Titik tinjau 1 (kerusakan <i>fatigue cracking</i> dan <i>rutting</i> )
4	22	<i>Interface</i> lapis AC-BC dan <i>base</i>
5	37	<i>Interface</i> lapis <i>base</i> dan <i>subgrade</i>
6	37,002	Titik tinjau 2 (kerusakan <i>permanent deformation</i> )

Pada *menu layer*, parameter *input* yang dimasukkan yaitu tebal tiap lapis perkerasan dan *Poisson's ratio* berdasarkan FHWA (2017). Pada *menu moduli*, parameter *input* yang dimasukkan yaitu nilai modulus elastisitas tiap lapis perkerasan hasil dari analisis *backcalculation* menggunakan program ELMOD 6.0 yang telah dilakukan. Data *input* *menu layer* dan *menu moduli* dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Data *input* *menu layer* dan *menu moduli*.

No. Layer	Layer	Thickness (cm)	Poisson's ratio	Modulus Elastisitas (kPa)
1	AC-WC	4	0,35	986.168
2	AC-BC	18	0,35	986.168
3	<i>Base</i>	15	0,35	88.321
4	<i>Subgrade</i>	$\infty$	0,45	48.038

Pada *menu load*, parameter *input* yang dimasukkan yaitu beban sumbu kendaraan, dimensi sumbu kendaraan, tekanan ban, jarak antar ban. Pada analisis ini menggunakan data kondisi beban yang digunakan di Indonesia berdasarkan (Sukirman 1999). Data *input* pada *menu load* dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Data *input* *menu load*.

Nama <i>Input</i>	Nilai	Keterangan
<i>LOAD</i>	1	<i>Single axle load</i> (8,16 ton)
CR	11 cm	Jarak antar ban
CP	550 kPa	Tekanan ban
YW	33 cm	<i>Single axle with dual tires</i> (Huang, 2004)
XW	0 cm	<i>Single axle with dual tires</i> (Huang, 2004)
NR or NPT	3	Jumlah pengulangan beban

Setelah melakukan *input* data pada semua *menu* kemudian data tersebut disimpan dan kembali ke *menu* utama program KENPAVE. Selanjutnya pilih *menu* KENLAYER untuk menjalankan program KENPAVE sehingga

dihasilkan nilai tegangan dan regangan. Pilih menu *EDITOR* pada tampilan *menu* utama program KENPAVE kemudian buka nama *file* untuk melihat hasilnya. Dari *output* hasil analisis menggunakan program KENPAVE kemudian diambil nilai regangan pada tiap *point* pembebanan berupa *vertical strain* pada kedalaman 21,998 cm (titik 1), 37,002 cm (titik 2), dan *horizontal strain* pada kedalaman 21,998 cm (titik 1) dan diubah menjadi nilai absolut yang dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Rekapitulasi hasil analisis menggunakan program KENPAVE

No. <i>Point</i>	<i>Vertical strain</i> pada 21,998 cm	<i>Vertical strain</i> pada 37,002 cm	<i>Horizontal P. strain</i> pada 21,998 cm
	$\epsilon$	$\epsilon$	$\epsilon$
1	$3,444 \times 10^{-4}$	$6,317 \times 10^{-4}$	$3,405 \times 10^{-4}$
2	$3,238 \times 10^{-4}$	$6,783 \times 10^{-4}$	$3,547 \times 10^{-4}$
3	$3,118 \times 10^{-4}$	$6,825 \times 10^{-4}$	$3,541 \times 10^{-4}$
Maksimum	$3,444 \times 10^{-4}$	$6,825 \times 10^{-4}$	$3,547 \times 10^{-4}$

Berdasarkan analisis yang dilakukan, menunjukkan hasil nilai *vertical strain* pada 21,998 cm maksimum yaitu  $3,444 \times 10^{-4}$ , nilai *vertical strain* pada 37,002 cm maksimum yaitu  $6,825 \times 10^{-4}$ , dan nilai *horizontal p. strain* pada 21,998 cm maksimum yaitu  $3,547 \times 10^{-4}$ .

### 3.3.2 Analisis prediksi kerusakan

Analisis nilai repetisi beban yang diizinkan dihitung berdasarkan kerusakan *fatigue*, *rutting*, dan *permanent deformation* menggunakan Persamaan (6), Persamaan (7), dan Persamaan (8) dengan nilai regangan maksimum yang digunakan terdapat pada Tabel 9, sehingga menghasilkan nilai repetisi beban yang diizinkan berdasarkan kerusakan *fatigue* yaitu 20.420.832 ESAL, *rutting* yaitu 4.352.121 ESAL, dan *permanent deformation* yaitu 203.636 ESAL.

### 3.3.3 Analisis Remaining Life (RL)

Dengan menggunakan nilai repetisi beban ijin pada kerusakan *fatigue*, *rutting* dan *permanent deformation*, analisis RL dihitung berdasarkan AASHTO (1993) menggunakan Persamaan (9) sehingga didapatkan hasil nilai RL pada tahun pertama berdasarkan kerusakan *fatigue* yaitu 95,9%, berdasarkan kerusakan *rutting* yaitu 80,5%, dan berdasarkan kerusakan *permanent deformation* yaitu -316% (*failure*). Perhitungan nilai RL dilakukan setiap tahun hingga pada suatu tahun dimana nilai RL sama dengan negatif atau perkerasan sudah mengalami *failure*. Rekapitulasi tahun perkerasan akan mengalami kegagalan (*failure*) berdasarkan hasil analisis mekanistik-empirik pada Jalan Milir-Sentolo ruas Timur dapat dilihat Pada Tabel 10.

Tabel 10. Rekapitulasi nilai repetisi beban izin dan umur sisa perkerasan

Kerusakan	Repetisi Beban Ijin (ESAL)	Tahun Terjadi Kerusakan Tahun Ke-	Umur Sisa Tahun
<i>Fatigue</i>	20.420.832	24	23
<i>Rutting</i>	4.352.121	6	5
<i>Permanent Deformation</i>	203.636	1	0

Berdasarkan analisis yang dilakukan menunjukkan prediksi umur sisa pada kerusakan *fatigue* yaitu 23 tahun merupakan nilai umur sisa terbesar, pada kerusakan *rutting* yaitu 5 tahun, dan pada kerusakan *permanent deformation* yaitu 0 tahun merupakan nilai umur sisa terkecil. Berdasarkan hal tersebut, dapat diketahui bahwa Jalan Milir-Sentolo ruas Timur sudah mengalami *failure* berdasarkan kerusakan *permanent deformation* sebelum tercapainya tahun pertama pelayanan jalan.

## 4 KESIMPULAN

Berdasarkan studi yang telah dilakukan, nilai modulus elastisitas hasil analisis *backcalculation* menggunakan program ELMOD 6.0 pada Jalan Milir-Sentolo ruas Timur menghasilkan nilai modulus elastisitas pada lapis HMA sebesar 986,2 MPa, pada lapis *base* sebesar 88,3 MPa, dan pada lapis *subgrade* sebesar 48,0 MPa.

Analisis prediksi kerusakan *fatigue*, *rutting*, dan *permanent deformation* berdasarkan metode mekanistik-empirik pada Jalan Milir-Sentolo ruas Timur menghasilkan nilai prediksi kerusakan *fatigue* sebesar 20.420.832 ESAL dengan

umur sisa 23 tahun, nilai prediksi kerusakan *rutting* sebesar 4.352.121 ESAL dengan umur sisa 5 tahun, dan nilai prediksi kerusakan *permanent deformation* sebesar 203.636 ESAL dengan umur sisa 0 tahun atau sudah mengalami *failure* sebelum tercapainya tahun pertama pelayanan jalan. Dengan demikian perlu dilakukan analisis lanjutan berdasarkan pengujian sampel yang diambil langsung dari lokasi penelitian untuk mengetahui seberapa besar tingkat kerusakan yang terjadi agar dapat dilakukan penanganan yang tepat terhadap struktur perkerasan pada Jalan Milir-Sentolo ruas Timur.

## REFERENSI

- AASHTO, 1993. *AASHTO Guide For Design of Pavement Structures*. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, D.C.
- Departemen Pekerjaan Umum, 2017. *MANUAL DESAIN PERKERASAN JALAN No. 02/M/BM/2017*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Fahrurrozi, Wibisono, G., dan Yusa, M., 2020. Evaluasi Struktur Perkerasan Lentur Dengan Metode Empiris Dan Mekanistik-Empiris Studi Kasus: Jalan Kubang Raya-Simpang Panam. *Jurnal Aptek*, 12 (2), 102–108.
- Federal Highway Administration (FHWA), 2017. *Using Falling Weight Deflectometer Data with Mechanistic – Empirical Design and Analysis, Volume III: Guidelines for Deflection Testing, Analysis, and Interpretation*. FHWA-HRT-16-011. Washington DC.
- Hadisi, H., 2014. Perancangan Laboratorium Campuran Beraspal Hangat Dengan Zat Tambah Berbasis Parafin. Universitas Gadjah Mada.
- Huang, Y.H., 2004. *Pavement Analysis and Design*. Second. Pearson Education. Kentucky: Pearson Education.
- Huber, G. a., 1994. Weather Database for the SUPERPAVE TM Mix Design System, (February), 139.
- Rahmawati, R., 2022. Prediksi Kerusakan Dan Sisa Umur Perkerasan Lentur Dengan Metode Mekanistik - Empirik Dan Backcalculation. Universitas Gadjah Mada.
- Rahmawati, R., Suparma, L.B., dan Utomo, S.H.T., 2022. Penentuan Nilai Modulus Elastisitas Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Perhitungan Balik. *Jurnal HPJI*, 8 (2), 159–172.
- Sukirman, S., 1999. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung: Nova.
- Suparma, L.B., 2001. The Use of Recycled Waste Plastics in Bituminous Composite. The University of Leeds.
- Suwanda, M.A. dan Kushari, B., 2019. Analisis Perbandingan Desain Struktur Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Mekanistik Empiris Dengan Pemodelan Viskoelastik dan Elastik Pada Ruas Jalan Tempel - Pakem.
- The Asphalt Institute, 1982. *The Asphalt Institute. 1982. Research and Development of The Asphalt Institute's Thickness Design Manual (MS-1)*. 9th ed. Research Report 82-2. Lexington, KY: The Asphalt Institute.
- Wirawan, N., 2016. *Cara Mudah Memahami Statistika Ekonomi dan Bisnis (Statistika Deskriptif)*. Denpasar: Keraras Emas.