

PREDIKSI SISA UMUR PERKERASAN LENTUR DENGAN METODE MEKANISTIK-EMPIRIK RUAS JALAN PROF. DR. WIRJONO PRODJODIKORO, YOGYAKARTA

Adrian Yonanda Dwiputra
MSTT FT UGM
Jln. Grafika 2, Kampus UGM
Sleman 55281
adrian.yonanda@mail.ugm.ac.id

Suryo Hapsoro Tri Utomo
MSTT FT UGM
Jln. Grafika 2, Kampus UGM
Sleman 55281
suryohapsoro@ugm.ac.id

Agus Taufik Mulyono
PUSTRAL UGM
Jln. Kemuning M3, Sekip, Mlati,
Sleman 55281
agus.taufik.mulyono@ugm.ac.id

Abstract

Jalan Prof. Dr. Wirjono Prodjodikoro is part of the south arterial road of Yogyakarta, which connects collector roads in the vicinity. In fact, the planned age of the pavement is often not in accordance with what is happening in the field and suffers early damage. This study aims to determine the value of load repetitions and predict the remaining life of flexible pavement so that it can be a guide in handling road damage. The method used is a mechanistic-empirical method, using the KENPAVE program. This study shows that the pavement at Jalan Prof. Dr. Wirjono Prodjodikoro was able to accommodate the repetition load of 13,444,693 ESAL until permanent deformation occurred in the 8th year, 38,286,385 ESAL until rutting damage occurred in the 17th year, and 147,165,814 ESAL until fatigue cracking damage occurred in 36th year. Before the 8th year, the pavement must be repaired so as not to experience more severe damage.

Keywords: road; road pavement; flexible pavement; road damage; pavement age

Abstrak

Ruas Jalan Prof. Dr. Wirjono Prodjodikoro merupakan bagian jalan arteri selatan Yogyakarta, yang menghubungkan jalan-jalan kolektor di sekitarnya. Pada kenyataannya, umur perkerasan jalan yang direncanakan seringkali tidak sesuai dengan yang terjadi di lapangan dan mengalami kerusakan dini. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai repetisi beban dan memprediksi sisa umur perkerasan lentur agar dapat menjadi pedoman dalam melakukan penanganan kerusakan jalan. Metode yang digunakan adalah metode mekanistik-empirik, menggunakan program KENPAVE. Studi ini menunjukkan bahwa perkerasan jalan di Ruas Jalan Prof. Dr. Wiryono Prodjodikoro mampu mengakomodasi beban repetisi sebesar 13.444.693 ESAL sampai terjadi kerusakan *permanent deformation* pada tahun ke-8, sebesar 38.286.385 ESAL sampai terjadi kerusakan *rutting* pada tahun ke-17, dan sebesar 147.165.814 ESAL sampai terjadi kerusakan *fatigue cracking* pada tahun ke-36. Sebelum tahun ke-8, perkerasan harus diperbaiki agar tidak mengalami kerusakan yang lebih parah.

Kata-kata kunci: jalan; perkerasan jalan; perkerasan lentur; kerusakan jalan; umur perkerasan jalan

PENDAHULUAN

Jalan Prof. Dr. Wirjono Prodjodikoro merupakan bagian jalan arteri selatan Kota Yogyakarta, yang menghubungkan jalan-jalan kolektor di sekitarnya. Pertumbuhan penduduk yang terus meningkat berbanding lurus dengan volume kendaraan yang melintasi ruas jalan tersebut. Peningkatan volume lalu lintas ini dapat berdampak pada kerusakan dini perkerasan, yang ditandai dengan retaknya permukaan perkerasan (Puslitbang Prasarana Transportasi, 2005). Hal tersebut dapat terlihat di ruas jalan ini, yang mengalami kerusakan, seperti

deformasi dan retak alur, yang diakibatkan karena bukan hanya volume kendaraan yang meningkat, tetapi juga beban sumbu kendaraan yang semakin meningkat dan bervariasi.

Seiring berjalan waktu, umur perkerasan jalan yang sudah direncanakan pada kenyataannya seringkali tidak sesuai dengan yang terjadi di lapangan. Seringkali perkerasan jalan sudah mengalami kerusakan sebelum masa layan jalan tersebut habis. Hal tersebut dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti pertumbuhan lalu lintas yang tidak sesuai prediksi, kondisi tanah dasar yang buruk, beban lalu lintas yang *overloading*, tidak sesuainya material yang digunakan, dan faktor lingkungan serta pelaksanaan yang tidak sesuai dengan perencanaan (Khairi et al., 2012; Ullidtz, 1987).

Diperlukan suatu metode analisis untuk dapat memprediksi sisa umur perkerasan lentur, agar dapat menjadi pedoman dalam melakukan inspeksi kerusakan, analisis terhadap kerusakan, mengklasifikasikan kondisi perkerasan, dan menentukan solusi penanganan kerusakan jalan. Suatu pendekatan yang dapat digunakan dalam menentukan sisa umur masa layan jalan adalah dengan menggunakan aplikasi KENPAVE. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi suatu inovasi baru dalam evaluasi perkerasan jalan yang efektif dan efisien, karena metode ini mampu memprediksi jenis kerusakan jalan di masa yang akan datang.

Metode mekanistik-empirik untuk mendesain perkerasan lentur memerlukan dua tahapan perhitungan. Tahap pertama adalah menghitung respons perkerasan yang berupa tegangan, regangan, dan lendutan kritis setiap lapisan perkerasan dengan menggunakan metode mekanistik. Tahap kedua adalah meramal performa keadaan dan fungsi perkerasan di masa depan, yang merupakan fungsi beban lalu lintas dan pengaruh lingkungan yang ada di sekitarnya. Respons perkerasan dipengaruhi oleh beban lalu lintas dinamik yang bergerak, rendaman, dan sentuhan roda pada permukaan perkerasan.

Metode Mekanistik-Empirik (Program KENPAVE)

Metode desain mekanistik-empirik didasarkan pada mekanika bahan. *Input* pada metode ini adalah beban lalu lintas, luas kontak area ban, jarak antarban, jarak antarsumbu, tekanan ban, poisson's ratio, modulus elastis, dan ketebalan lapisan (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2017). *Output* atau respons perkerasan pada metode ini adalah regangan dan tegangan, kemudian respons tegangan dan regangan digunakan untuk menganalisis kerusakan (*fatigue cracking*, *rutting*, dan *permanent deformation*) untuk mendapatkan tebal perkerasan yang efektif. Pada metode ini perhitungan manual sangat rumit sehingga dibutuhkan suatu program, yaitu KENPAVE (Huang, 2004).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan mengumpulkan data primer dan data sekunder. Data primer diambil melalui pengamatan dan pengukuran langsung di lapangan. Data sekunder yang digunakan diperoleh langsung dari BBPJN Jateng-DIY. Langkah-langkah dalam

melakukan pemodelan struktur menggunakan program KENPAVE, sub-KENLAYER, adalah sebagai berikut:

- 1) Menentukan data *properties* material untuk pemodelan struktur, antara lain:
 - a) Tebal lapisan tiap perkerasan;
 - b) Nilai modulus elastisitas (e) tiap lapis perkerasan;
 - c) Nilai poisson ratio tiap lapis perkerasan;
- 2) Menganalisis data lalu lintas, antara lain:
 - a) Menghitung *Equivalent Single Axle Load* (ESAL);
 - b) Menentukan detail beban sumbu dan roda;
- 3) Melakukan pemodelan struktur perkerasan dengan program KENPAVE dan untuk lapisan perkerasan menggunakan sub program KENLAYER;
- 4) Menentukan respons tegangan-regangan yang terjadi akibat beban lalu lintas menggunakan hasil *output* program KENLAYER; dan
- 5) Menganalisis repetisi beban lalu lintas yang dihasilkan program KENPAVE dan menganalisa kerusakan perkerasan.

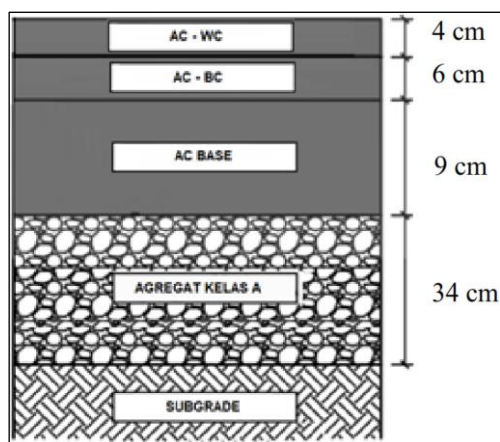
HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Ruas Jalan Prof. Dr. Wirjono Prodjodikoro

Kondisi struktur perkerasan pada ruas jalan Arteri Prof. Dr. Wirjono Prodjodikoro dapat dijelaskan sebagai berikut:

- 1) Status jalan : Arteri
- 2) Tipe perkerasan : Perkerasan Lentur
- 3) Panjang jalan (yang diteliti) : 2,72 km
- 4) Lebar jalan : 22 m

Data struktur perkerasan yang diperoleh dari Satker P2JN DI Yogyakarta seperti ditunjukkan dalam Gambar 1.



Sumber: P2JN Yogyakarta, 2021

Gambar 1 Struktur Perkerasan Jalan

Analisis Data Lalu Lintas

Data lalu lintas pada ruas jalan Prof. Dr. Wirjono Prodjodikoro merupakan data sekunder yang didapat dari Laporan Satker P2JN Yogyakarta. Data lalu lintas tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Volume Lalu Lintas Harian Tahun 2019

No.	Jenis Kendaraan	Golongan	LHR 2019
1	Mobil, angkutan umum, dll	2, 3, 4	25.576
2	Bus Kecil	5a	490
3	Bus besar	5b	1.096
4	Truk 2 As (4 Roda)	6a	543
5	Truk 2 As (6 Roda)	6b	1.459
6	Truk 3 As	7a	389
7	Truk Gandeng	7b	182
8	Trus Trailer 4As, 5As, 6As	7c	113
Jumlah			29.848

Analisis Perkerasan Jalan Dengan Program KENPAVE

Data tebal perkerasan jalan yang diperoleh dapat langsung diolah dengan menggunakan program KENPAVE, untuk mengetahui kondisi perkerasan jalan.

1) Analisis Data Masukan

a) Menentukan beban sumbu dan roda yang merupakan nilai bahan dan tebal perkerasan yang memiliki struktur lapis banyak:

- (1) Beban kendaraan sumbu standar adalah 18.000 lbs atau 8,16 ton,
- (2) Tekanan roda satu ban adalah 0,55 MPa atau 5,5 kg/cm
- (3) Jari-jari bidang kontak adalah 110 mm atau 11 cm, dan
- (4) Jarak antarmasing-masing sumbu roda ganda adalah 33 cm.

Untuk menentukan parameter tiap lapis perkerasan, diasumsikan perkerasan berbahan linier elastik, sehingga parameter yang memengaruhi hanya modulus elastis dan Poisson's Ratio, yang datanya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Data Input Program KENPAVE, Bina Marga (2017)

Lapis Perkerasan	Modulus Elastisitas E (KPa)	Poisson Ratio (ν)	Tebal Perkerasan (cm)
AC-WC	1.100.000 KPa	0,40	4
AC-BC	1.200.000 KPa	0,40	6
AC-Base	1.600.000 KPa	0,35	9
Pondasi Kelas A	255.000 KPa	0,40	34
Tanah Dasar	105.600 KPa	0,45	∞

2) Analisis *Input* Program KENPAVE

Langkah *input* evaluasi perkerasan jalan dengan program KENPAVE, khususnya untuk perhitungan tegangan dan regangan perkerasan lentur, adalah sebagai berikut:

a) LAYERINP

Untuk memulai input data, klik pada bagian menu LAYERINP. Kemudian klik pada menu *file*, lalu pilih *new* untuk memulai *input* data baru.

b) General

Pada menu general nilai-nilai yang di-*input* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Data Input General Program KENLAYER

Istilah	Nilai	Keterangan
<i>Title</i>	Percobaan	Diisi sesuai dengan kelompok beban yang di masukan
<i>MATL</i>	1	Pada analisis lapis perkerasan adalah linier
<i>NDAMA</i>	0	Tidak ada analisis kerusakan
<i>NYP</i>	1	Mengikuti KENPAVE
<i>NLG</i>	1	Mengikuti KENPAVE
<i>DEL</i>	0,001	Standar akurasi
<i>NL</i>	5	Jumlah lapisan perkerasan pada analisis adalah 5
<i>NZ</i>	5	Jumlah titik kerusakan yang analisis
<i>ICL</i>	80	Mengikuti KENPAVE
<i>NSDT</i>	9	Untuk vertical displacement, nilai tegangan dan regangan
<i>NBONT</i>	1	Semua lapisan saling mengikat
<i>NLBT</i>	0	-
<i>NLTC</i>	0	-
<i>NUNIT</i>	1	Satuan digunakan adalah SI (Standar Internasional)

c) Zcoord

Pada menu Zcoord, data yang dimasukkan adalah kedalaman titik yang akan ditinjau kerusakannya. Kedalaman titik kerusakannya dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Input Zcoord

No. Layer	Kedalaman	Keterangan
1	0	Permukaan AC-WC
2	18,998	Titik tinjau 1
3	19	Permukaan LPA
4	53	Permukaan Subgrade
5	53,002	Titik tinjau 2

Titik nomor satu merupakan titik pada dasar lapisan beraspal untuk analisis kerusakan *fatigue cracking* dan *rutting*. Titik nomor dua merupakan titik yang terletak di permukaan lapis subgrade untuk analisis kerusakan *permanent deformation*.

d) Layer

Parameter yang harus dimasukkan ke dalam KENLAYER adalah tebal perkerasan dan Poisson's Ratio. Kedua nilai parameter tersebut dapat dilihat pada Tabel 5 (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2017).

Tabel 5 Input Parameter Layer

No. Layer	Thickness (cm)	Poisson's Ratio (μ)
1	4	0,40
2	6	0,40
3	9	0,35
4	34	0,40
5	∞	0,45

e) Moduli

Parameter yang dimasukkan pada menu moduli adalah modulus elastisitas masing-masing perkerasan (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2017). Detail data yang di-input pada menu moduli dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Data Input Moduli

Lapis Perkerasan	Modulus Elastisitas E (KPa)
AC-WC	1.100.000 kPa
AC-BC	1.200.000 kPa
AC-Base	1.600.000 kPa
Pondasi Kelas A	255.000 kPa
Tanah Dasar	105.600 kPa

f) Load

Pada analisis ini, nilai beban sumbu roda diambil berdasarkan data kondisi beban yang digunakan di Indonesia sebagai berikut (Sukirman, 1993):

- (1) Beban kendaraan sumbu standar adalah 18.000 lbs (8,16 ton)
- (2) Tekanan roda satu ban adalah 0,55 MPa (5,5 kg/cm²)
- (3) Jari-jari bidang kontak adalah 110 mm atau 11 cm, dan
- (4) Jarak antarmasing-masing sumbu roda ganda adalah 33 cm

Cara menentukan data *input* pada menu load adalah sebagai berikut:

- (1) Load = 1 (*single axle load*); digunakan beban sumbu standar 8,16 ton.
- (2) CR = 11 cm; berdasarkan nilai jarak antarban
- (3) CP = 550 kPa; berdasarkan nilai tekanan ban
- (4) YW = 0 dan XW = 33; digunakan analisis roda *single axle with dual tires*
- (5) NPT = 3; nilai NPT adalah 3 karena ada 3 pengulangan beban dengan tinjauan berbeda.

Setelah selesai mengisi data pada semua tampilan menu, data tersebut disimpan dan kembali ke menu utama program KENPAVE. Selanjutnya dipilih menu KENLAYER, sehingga data dijalankan dan didapat nilai tegangan dan regangan. Pilih menu Editor pada tampilan awal program, buka nama file untuk melihat hasilnya.

3) Hasil *Output* Analisis KENLAYER

Output analisis menggunakan KENLAYER adalah nilai tegangan dan regangan yang terjadi pada perkerasan lentur jalan. Untuk *single axle load*, respons yang dapat diidentifikasi dan dapat dianalisis hanya *vertical compressive strain* yang terdapat pada permukaan tanah dasar dan radial (tangential) *tensile strain* yang terletak di bawah lapisan beraspal. Tegangan dan regangan yang ada pada Tabel 7 didapat ketika struktur perkerasan jalan sudah dibebani. Nilai tegangan dan regangan pada Tabel 8 merupakan nilai rekapitulasi tegangan dan regangan terbesar tiap layer hasil subprogram KENLAYER.

Tabel 7 Hasil Perhitungan KENLAYER

No.	Koordinat Vertikal	Displacement Vertikal (Regangan Horizontal)	Tegangan Vertikal (Regangan)	
1	0	0,03512	550,000	
		$1,261 \times 10^{-4}$	$2,450 \times 10^{-5}$	
	18,998	0,03173	114,514	
		$-1,892 \times 10^{-4}$	$2,119 \times 10^{-4}$	
	19	0,03173	114,501	
		$-1,893 \times 10^{-4}$	$2,119 \times 10^{-4}$	
	53	0,02329	28,335	
		$-1,228 \times 10^{-4}$	$1,961 \times 10^{-4}$	
	53,002	0,02400	28,334	
		$-1,228 \times 10^{-4}$	$2,478 \times 10^{-7}$	
	2	0	0,03466	550,000
			$1,464 \times 10^{-4}$	$7,630 \times 10^{-5}$
18,998		0,03265	106,169	
		$-1,929 \times 10^{-4}$	$1,806 \times 10^{-4}$	
19		0,03265	106,161	
		$-1,929 \times 10^{-4}$	$1,806 \times 10^{-4}$	
	53	0,02397	30,273	
		$-1,290 \times 10^{-4}$	$2,120 \times 10^{-4}$	
	53,002	0,02397	30,271	
		$-1,290 \times 10^{-4}$	$2,677 \times 10^{-4}$	
	3	0	0,03249	0,000
			$4,457 \times 10^{-5}$	$-1,560 \times 10^{-4}$
18,998		0,03268	99,298	
		$-1,899 \times 10^{-4}$	$1,602 \times 10^{-4}$	
19		0,03268	99,298	
		$-1,899 \times 10^{-4}$	$1,602 \times 10^{-4}$	
	53	0,02410	30,629	
		$-1,333 \times 10^{-4}$	$2,149 \times 10^{-4}$	
	53,002	0,02410	30,628	
		$-1,333 \times 10^{-4}$	$2,614 \times 10^{-4}$	

Tabel 8 Rekapitulasi Hasil Perhitungan KENLAYER

	Tangential strain pada 9,998 cm (ϵ)	Vertical strain pada 9,998 cm (ϵ)	Vertical strain pada 53,002 cm (ϵ)
	Beban	$1,892 \times 10^{-4}$	$2,119 \times 10^{-4}$
	$1,929 \times 10^{-4}$	$1,806 \times 10^{-4}$	$2,677 \times 10^{-4}$
	$1,899 \times 10^{-4}$	$1,602 \times 10^{-4}$	$2,614 \times 10^{-4}$
Maksimum	$1,929 \times 10^{-4}$	$2,119 \times 10^{-4}$	$2,677 \times 10^{-4}$

Dari data tersebut diperoleh *horizontal principal strain* sebesar $1,929 \times 10^{-4}$ untuk analisis kerusakan *fatigue cracking*, serta nilai *vertical strain* sebesar $2,119 \times 10^{-4}$ untuk jenis kerusakan *rutting* dan $2,677 \times 10^{-4}$ untuk kerusakan *permanent deformation*.

4) Parameter untuk Kontrol Prediksi Umur Pelayanan Jalan

Kontrol dilakukan dengan cara menghitung nilai Nf untuk mengontrol *fatigue cracking* dan Nd untuk mengontrol *permanent deformation*, serta *rutting* harus lebih besar daripada CESA yang telah diprediksi. Perhitungan nilai Nf dan Nd adalah sebagai berikut:

- a) Jumlah nilai beban pengulangan izin untuk mengontrol *fatigue cracking*:
 $Nf = 0,0796 (\epsilon t)^{-3,921} |E^*|^{-0,854}$
 $Nf = 0,0796 (1.929 \times 10^{-4})^{-3,921} |1.600.000|^{-0,854} = 147.165.814 \text{ ESAL}$
- b) Jumlah nilai beban pengulangan izin untuk mengontrol *rutting*:
 $Nd = 1,365 \times 10^{-9} (\epsilon_c)^{-4,477}$
 $Nd = 1,365 \times 10^{-9} (2.119 \times 10^{-4})^{-4,477} = 38.286.385 \text{ ESAL}$
- c) Jumlah nilai beban pengulangan izin untuk mengontrol *permanent deformation*:
 $Nd = 1,365 \times 10^{-9} (2,677 \times 10^{-4})^{-4,477}$
 $Nd = 1,365 \times 10^{-9} (\epsilon_c)^{-4,477} = 13.444.693 \text{ ESAL}$

Kontrol Prediksi Umur Pelayanan Jalan

Sebagai kontrol prediksi umur pelayanan, digunakan kerusakan yang memiliki daya tahan paling sedikit setelah dilewati beban repetisi, yaitu kerusakan *permanent deformation* (Nd). Setelah itu, dengan nilai CESA pada kerusakan *permanent deformation* dapat dihitung prediksi sisa umur ruas jalan. Nilai rekapitulasi beban gandar maksimum dan masa layanan beban gandarnya dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9 Rekapitulasi Analisis Perkerasan Lentur Eksisting

Jenis Kerusakan	Beban Ganda Maksimum (ESAL)	Sisa Umur Pelayanan (Tahun)
<i>Fatigue Cracking</i>	147.165.814	36
<i>Rutting</i>	38.286.385	17
<i>Permanent Deformation</i>	13.444.693	8

Alternatif Tebal Perkerasan Lentur dengan Metode Bina Marga

Penentuan jenis dan tebal perkerasan menggunakan Manual Desain Perkerasan Jalan (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2017) memerlukan beberapa tahap penyelesaian sebagai berikut:

- 1) Umur Rencana Jalan; jenis perkerasan lentur dengan elemen perkerasan beraspal menggunakan umur rencana 20 tahun.
- 2) Nilai Faktor Laju Pertumbuhan Lalu Lintas (I); untuk Ruas Jalan Prof. Dr. Wirjono Prodjodikoro, yang termasuk pada kelas arteri perkotaan daerah Jawa, adalah 4,80%.
- 3) Nilai Faktor Pengali Pertumbuhan Lalu Lintas.
- 4) $R = \frac{(1+0,01i)^{UR}-1}{0,01i} = \frac{(1+0,01 \times 4,8)^{UR}-1}{0,01 \times 4,8} = 32,38$.
- 5) Distribusi Arah (DD) dan Faktor Distribusi Lajur (DL); faktor distribusi arah (DD) umumnya diambil 0,50, sedangkan faktor distribusi lajur kendaraan niaga (DL) bernilai 0,6 atau 60%, karena jumlah lajur per arah adalah 3.
- 6) Faktor Ekuivalen Beban (*Vehicle Damage Factor*); berdasarkan Manual Desain Perkerasan Jalan (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2017) CESA₄ digunakan untuk menentukan pemilihan jenis perkerasan sedangkan CESA₅ digunakan untuk menentukan tebal perkerasan lentur. Dari data yang ada dapat dicari rencana jumlah kendaraan dalam periode 20 tahun, dan prediksi jumlah kendaraan selama umur rencana (Tabel 10).

Tabel 10 Prediksi Jumlah Kendaraan Selama Umur Rencana

Jenis Kendaraan	VDF ₄	VDF ₅	DD	DL	LHR/Hari	R	CESA ₄	CESA ₅
Gol 2, 3 4	-	-	0,5	0,6	25.576	32,38	-	-
Gol 5a	0,3	0,2	0,5	0,6	490	32,38	521.134	347.422
Gol 5b	1	1	0,5	0,6	1.096	32,38	3.885.458	3.885.458
Gol 6a	0,55	0,5	0,5	0,6	543	32,38	1.058.752	962.502
Gol 6b	4	5,1	0,5	0,6	1.459	32,38	20.689.357	26.378.931
Gol 7a	4,7	6,4	0,5	0,6	389	32,38	6.481.555	8.825.947
Gol 7b	9,4	13	0,5	0,6	182	32,38	6.065.002	8.387.769
Gol 7c	7,4	9,7	0,5	0,6	113	32,38	2.964.435	3.885.813
Total Cumulative Equivalent Single Axle Load (CESA)							41.665.693	52.673.842

Dari perhitungan tersebut didapat CESA₄ sebesar 41.665.693 dan CESA₅ sebesar 52.673.842. Selanjutnya adalah menentukan tipe perkerasan. Jenis perkerasan akan bervariasi sesuai dengan estimasi lalu lintas dan umur rencana, seperti disajikan pada Tabel 11.

Tabel 11 Pemilihan Jenis Perkerasan yang Digunakan

Struktur Perkerasan	Bagan Desain	ESA (juta) dalam 20 tahun				
		0–0,5	0,1–4	>4–10	>10–30	>30–200
Perkerasan kaku dengan lalu lintas berat (di atas tanah dengan CBR ≥ 2,5%)	4	-	-	2	2	2
Perkerasan kaku dengan lalu lintas rendah (daerah pedesaan & perkotaan)	4A	-	1,2	-	-	-
AC WC modifikasi/SM modifikasi dengan CTB (ESA ₅)	3	-	-	-	2	2
AC dengan CTB (ESA pangkat 5)	3	-	-	-	2	2
AC tebal ≥ 100 mm dengan lapis fondasi berbutir (ESA ₅)	3B	-	1,2	1,2	2	2
AC atau HRS tipis di atas lapis fondasi berbutir (ESA ₅)	3A	-	1,2	-	-	-
Burda, Burtu dengan LFA Kelas A atau batuan asli	5	-	3	3	-	-
Lapis Fondasi Soil Cement	6	1	1	-	-	-
Perkerasan tanpa penutup (Japat, jalan kerikil)	7	1	-	-	-	-

Tabel 12 Desain Perkerasan Lentur Cement Treated Base (Ditjen Bina Marga, 2017)

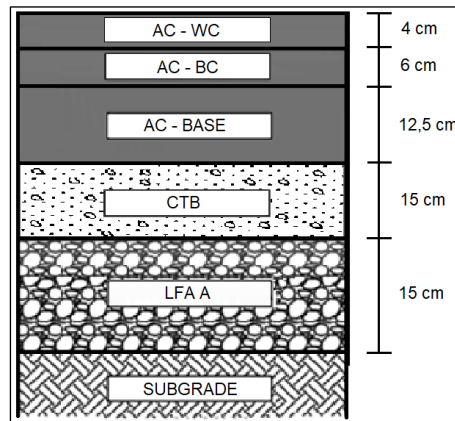
	F1 ²	F2	F3	F4	F5
Untuk lalu lintas di bawah 10 juta ESA ₅ lihat Bagan Desain –3A, 3B, dan 3C		Lihat Bagan Desain–4 untuk alternatif perkerasan kaku ³			
Repetisi beban sumbu kumulatif 20 tahun pada lajur rencana (10 ⁶ ESA ₅)	>10–30	>30–50	>50–100	>100–200	>200–500
Jenis permukaan pengikat	AC	AC			
Jenis Lapis Fondasi		Cement Treated Base (CTB)			
AC–WC	40	40	40	50	50
AC–BC	60	60	60	60	60
AC–BASE	75	100	125	160	220
CTB	150	150	150	150	150
Fondasi Agregat Kelas A	150	150	150		150

Berdasarkan nilai CESA₄ sebesar 41.665.693 ESAL jenis perkerasan yang didapat adalah AC-WC modifikasi dengan CTB (ESA₅) Setelah dilakukan pemilihan jenis perkerasan, dilakukan perancangan tebal perkerasan jalan dengan nilai CESA₅ sebesar 52.673.842

ESAL. Tebal tiap lapis perkerasan tertera pada Tabel 12, yang sesuai dengan bagan desain 3 Bina Marga (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2017).

Dari Tabel 12 diperoleh tebal lapis perkerasan lentur, seperti terlihat pada Gambar 2.

- AC–WC = 4 cm
- AC–BC = 6 cm
- AC–Base = 12,5 cm
- CTB = 15 cm
- LFA Kelas A = 15 cm



Gambar 2 Tebal Perkerasan Lentur Metode Bina Marga 2017

Analisis Perkerasan Jalan Dengan Metode KENPAVE

1) Data Masukan

- a) Menentukan detail beban sumbu dan roda. Pada analisis ini nilai detail beban sumbu dan roda diambil berdasarkan data kondisi beban yang digunakan di Indonesia (Sukirman, 1993), sebagai berikut:
 - (1) Beban kendaraan sumbu standar adalah 18.000 lbs atau 8,16 ton;
 - (2) Tekanan roda satu ban adalah 0,55 MPa atau 5,5 kg/cm;
 - (3) Jari-jari bidang kontak adalah 110 mm atau 11 cm; dan
 - (4) Jarak antarmasing-masing sumbu roda ganda adalah 33 cm.
- b) Menentukan parameter tiap lapis perkerasan. Pada analisis material ini diasumsikan berbahan linier elastik, sehingga parameter yang memengaruhi hanya modulus elastis dan Poisson's Ratio, seperti terlihat pada Tabel 13.

Tabel 13 Data Input Program KENPAVE (Bina Marga, 2017)

Lapis Perkerasan	Modulus Elastisitas E (KPa)	Poisson Ratio (ν)	Tebal Perkerasan (cm)
AC–WC	1.100.000 kPa	0,40	4
AC–BC	1.200.000 kPa	0,40	6
AC–Base	1.600.000 kPa	0,40	9
CTB	500.000 kPa	0,35	34
Fondasi Kelas A	255.000 kPa	0,40	∞
Subgrade	105.600 kPa	0,45	

2) *Input* Program KENPAVE

Langkah *input* evaluasi perkerasan jalan untuk perhitungan tegangan dan regangan adalah sebagai berikut:

a) LAYERINP

Untuk memulai *input* data, klik pada bagian menu LAYERINP. Kemudian klik pada menu file lalu pilih new untuk memulai *input* data baru.

b) General

Pada menu general nilai-nilai yang di-*input* dapat dilihat pada Tabel 14.

Tabel 14 Data Input General Program KENLAYER

Istilah	Nilai	Keterangan
<i>Title</i>	Percobaan	Diisi sesuai dengan kelompok beban yang di masukan
<i>MATL</i>	1	Pada analisis lapis perkerasan adalah linier
<i>NDAMA</i>	0	Tidak ada analisis kerusakan
<i>NYP</i>	1	Mengikuti KENPAVE
<i>NLG</i>	1	Mengikuti KENPAVE
<i>DEL</i>	0,001	Standar akurasi
<i>NL</i>	5	Jumlah lapisan perkerasan pada analisis adalah 5
<i>NZ</i>	5	Jumlah titik kerusakan yang analisis
<i>ICL</i>	80	Mengikuti KENPAVE
<i>NSDT</i>	9	Untuk vertical displacement, nilai tegangan dan regangan
<i>NBONT</i>	1	Semua lapisan saling mengikat
<i>NLBT</i>	0	-
<i>NLTC</i>	0	-
<i>NUNIT</i>	1	Satuan digunakan adalah SI (Standar Internasional)

c) Zcoord

Data yang dimasukkan adalah kedalaman titik yang ditinjau kerusakannya. Titik nomor satu adalah kerusakan *fatigue cracking* dan *rutting*. Kedalaman yang ditinjau kerusakannya dapat dilihat pada Tabel 15.

Tabel 15 *Input* Zcoord

No.	Kedalaman	Keterangan
1	0	Permukaan AC-WC
2	22,498	Titik tinjau 1
3	22,5	Permukaan LPA
4	52,5	Permukaan Subgrade
5	52,502	Titik tinjau 2

Tabel 16 *Input* Parameter Layer

No. Layer	Thickness (cm)	Poisson Ratio (ν)
1	4	0,40
2	6	0,40
3	12,5	0,40
4	15	0,35
5	15	0,40
6	∞	0,45

a) Layer

Parameter yang dimasukkan ke dalam KENLAYER adalah tebal perkerasan dan Poisson's Ratio. Nilai kedua parameter tersebut dapat dilihat pada Tabel 16 (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2017).

b) Moduli

Parameter yang dimasukkan pada menu moduli adalah modulus elastisitas masing-masing perkerasan (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2017). Data yang di-input pada menu moduli dapat dilihat pada Tabel 17.

Tabel 17 Input Moduli

Lapis Perkerasan	Modulus Elastisitas E (KPa)
AC-WC	1.100.000 kPa
AC-BC	1.200.000 kPa
AC-Base	1.600.000 kPa
CTB	500.000 kPa
Pondasi Kelas A	255.000 kPa
<i>Subgrade</i>	105.600 kPa

c) Load

Data input berdasarkan kondisi beban yang digunakan di Indonesia adalah sebagai berikut (Sukirman, 1993):

- 1) Load = 1 (*single axle load*); digunakan beban sumbu standar 8,16 ton.
- 2) CR = 11 cm; berdasarkan nilai jarak antarban
- 3) CP = 550 kPa; berdasarkan nilai tekanan ban
- 4) YW = 33 dan XW = 0; pada analisis ini roda *single axle with dual tires*
- 5) NPT = 3; karena ada 3 pengulangan beban

3) Hasil *Output* Analisis KENLAYER

Output analisis adalah nilai tegangan dan regangan yang terjadi pada perkerasan. Respons yang dapat diidentifikasi dan dianalisis hanya *vertical compressive strain* dan *tensile strain*. Tabel 18 merupakan nilai rekapitulasi tegangan dan regangan terbesar setiap *layer*.

Tabel 18 Rekapitulasi Hasil dari Perhitungan KENLAYER

Beban	Tangential Strain pada 30,998 cm	Vertical Strain pada 30,998 cm	Vertical Strain pada 61,002 cm
	(ϵ)	(ϵ)	(ϵ)
	$1,139 \times 10^{-4}$	$1,551 \times 10^{-4}$	$1,705 \times 10^{-4}$
	$1,177 \times 10^{-4}$	$1,383 \times 10^{-4}$	$1,833 \times 10^{-4}$
	$1,169 \times 10^{-4}$	$1,269 \times 10^{-4}$	$1,856 \times 10^{-4}$
Maksimum	$1,177 \times 10^{-4}$	$1,551 \times 10^{-4}$	$1,856 \times 10^{-4}$

Dari data tersebut diperoleh *principal strain* sebesar $1,092 \times 10^{-4}$ untuk analisis jenis kerusakan *fatigue cracking*, nilai *vertical strain* sebesar $1,244 \times 10^{-4}$ untuk jenis kerusakan *rutting*, dan $1,788 \times 10^{-4}$ untuk kerusakan *deformation*.

4) Parameter untuk Kontrol Prediksi Umur Pelayanan Jalan

Kontrol dilakukan dengan cara menghitung nilai N_f dan N_d untuk mengontrol *fatigue cracking*, *permanent deformation*, dan *rutting* harus lebih besar dari CESA yang telah diprediksi. Perhitungan nilai N_f dan N_d sebagai berikut:

a) Jumlah nilai beban pengulangan izin untuk mengontrol *fatigue cracking*.

$$N_f = 0,0796 (\epsilon t)^{-3,921} |E^*|^{-0,854}$$

$$N_f = 0,0796 (1,177 \times 10^{-4})^{-3,921} |1.600.000|^{-0,854} = 1.021.127.781 \text{ ESAL}$$

b) Jumlah nilai beban pengulangan izin untuk mengontrol *rutting*.

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

$$N_d = 1,365 \times 10^{-9} (1,551 \times 10^{-4})^{-4,477} = 152.144.597 \text{ ESAL}$$

c) Jumlah nilai beban pengulangan izin untuk mengontrol *permanent deformation*.

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

$$N_d = 1,365 \times 10^{-9} (1,856 \times 10^{-4})^{-4,477} = 69.296.144 \text{ ESAL}$$

Kontrol Prediksi Umur Pelayanan Jalan dengan Metode KENPAVE

Kontrol prediksi umur pelayanan digunakan kerusakan yang memiliki daya tahan paling sedikit. Setelah itu, dengan nilai CESA pada kerusakan *permanent deformation* dihitung prediksi sisa umur jalan.

Dari hasil perhitungan dapat dilihat bahwa kondisi perkerasan jalan mampu mengakomodasi beban repetisi sebesar 69.296.144 ESAL sampai terjadi kerusakan *deformation*, 152.144.597 ESAL sampai terjadi kerusakan *rutting*, dan 1.021.127.781 ESAL sampai terjadi kerusakan *fatigue cracking*. Dari hasil analisis dengan umur rencana selama 20 tahun dapat disimpulkan bahwa hingga tahun ke-24, kondisi perkerasan jalan masih mampu menahan beban lalu lintas.

KESIMPULAN

Pada studi ini dilakukan pengamatan dan analisis prediksi sisa umur perkerasan jalan pada ruas jalan arteri Prof. Dr. Wirjono Prodjodikoro. Studi ini menunjukkan bahwa respons tegangan-regangan yang terjadi pada ruas jalan arteri Prof. Dr. Wirjono Prodjodikoro berbeda-beda untuk tiap jenis kerusakan. Untuk kerusakan *permanent deformation* diperoleh nilai repetisi beban sebesar 13.444.693 ESAL, untuk kerusakan *rutting* sebesar 38.286.385 ESAL, dan untuk kerusakan *fatigue cracking* sebesar 147.165.814 ESAL.

Memasuki umur ke-8, perkerasan jalan diprediksi sudah tidak mampu mengakomodasi beban repetisi kerusakan *permanent deformation* sebesar 13.444.693 ESAL, memasuki umur ke-17 untuk kerusakan *rutting* yang melebihi batas toleransi beban repetisi sebesar 38.286.385 ESAL, dan kerusakan *fatigue cracking* sebesar 147.165.814 ESAL terjadi memasuki tahun ke-36.

DAFTAR PUSTAKA

- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2017. *Manual Desain Perkerasan Jalan. Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga Nomor 04/SE/Db/2017*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Jakarta.
- Huang, Y.H. 2004. *Pavement Analysis and Design*. 2nd ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education.
- Khairi, A, Idham, M, dan Saleh, H. 2012. *Evaluasi Jenis dan Tingkat Kerusakan Dengan Menggunakan Metode Pavement Condition Index (PCI): Studi Kasus Jalan Soekarno Hatta, Dumai 05+000–10+000*. Prosiding Seminar Nasional Industri dan Teknologi. Politeknik Negeri Bengkalis, Bengkalis.
- Pusat Penelitian Pengembangan (Puslitbang) Prasarana Transportasi. 2005. *Teknik Pengelolaan Jalan*. Departemen Pekerjaan Umum. Bandung.
- Sukirman, S. 1993. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung: Nova.
- Ullidtz, P. 1987. *Pavement Analysis; Development in Civil Engineering*. Vol. 19. Transportation Research Board. The National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Washington, DC.