

Studi komparasi prediksi umur pelayanan antara campuran *Superpave* dan *AC-WC* menggunakan permodelan viskoelastik dan elastik

Muhamad Abdul Hadi^{1,*} dan Miftahul Fauziah²

^{1,2}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia

Article Info

Article history:

Received: Jul 31, 2022
Revised: Nov 29, 2022
Accepted: Nov 30, 2022
Available online:
Des 20, 2022

Keywords:

AC-WC
Elastic
KENPAVE
Viscoelastic
Superpave

Abstract

The performance of a pavement depends on a load of passing vehicles; in anticipation of these problems, alternative solutions are needed. One solution is using a Superpave mixture as a type of pavement. Previous studies concluded that the Superpave mixture performed better in receiving or distributing vehicle loads and resistance to submersion conditions. However, to strengthen this opinion, exploring it from another point of view is necessary. One of them is the mechanistic-empirical analysis of the KENPAVE program, which is needed to determine the prediction of service life. In this study, the AC-WC mixture was used as a comparison. The analysis started by calculating the stiffness modulus value for both types of pavements, determining the alternative pavement design plans to be applied using Bina Marga 2017 method, and ending the mechanistic-empirical analysis process using two modeling forms, namely viscoelastic and elastic. As a result, the Superpave mixture has a relatively higher predictive value of service life compared to the AC-WC mixture. This result applies to both the viscoelastic and elastic models. Suggestions for using an alternative with Bina Marga 2017's design chart 3-B on FFF7 criteria are given regarding maximizing the performance of the Superpave mixture in the field. The mechanistic-empirical analysis of the design alternative shows that the predicted service life is above the 20-year design age limit, which is 30.7 years in the viscoelastic model and 40.9 years in the elastic model before the prediction of the first damage.

Corresponding Author:

Muhamad Abdul Hadi,
muhamad.abdul.hadi@uii.a
c.id

Copyright © 2022 Universitas Islam Indonesia
All rights reserved

Pendahuluan

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.

Solusi yang dapat dilakukan antara lain dengan memodifikasi jenis perkerasan dari segi pemilihan gradasinya. Gradasi

merupakan faktor utama penentu kinerja struktur dan didesain berdasarkan kebutuhan-kebutuhan yang telah disesuaikan dengan fungsi dari penerapannya. Menurut Miagi (2015) dan Hadi, dkk (2021), salah satu jenis modifikasi gradasi yang digunakan untuk pengantisipasi beban yang berat adalah jenis gradasi *Superpave* yang merupakan salah satu jenis perkerasan hasil modifikasi gradasi yang dilakukan oleh *Strategic Highway Research Program (SHRP)*.

Superpave memiliki ciri utama yaitu adanya zona larangan dalam bentuk ukuran nominal maksimum dan minimum. Menurut Al-

Khateeb, dkk (2017) zona gradasi larangan pada campuran *Superpave* akan memberikan peran berupa volume rongga yang lebih besar, dengan harapan agar aspal yang digunakan dapat mengisi rongga tersebut secara maksimal.

Dalam beberapa penelitian, campuran *Superpave* terbukti memiliki kemampuan yang lebih baik dalam hal meningkatkan kinerja ataupun mempertahankan kinerja dari suatu perkerasan. Menurut Hadi dan Fauziah (2019), penggunaan campuran *Superpave* dapat menjadi solusi terhadap permasalahan akibat adanya proses pembebanan dan proses rendaman akibat genangan air payau yang terjadi di lapangan. Hal ini disebabkan oleh kemampuan *Superpave* dalam mempertahankan ikatan antar agregat yang rapat sehingga perkerasan lebih mampu memberikan ketahanan dalam menerima beban secara vertikal serta terhadap proses perendaman dengan durasi tertentu. Kondisi yang sama juga telah disampaikan oleh Zumwari dan Edrees (2019) bahwa penerapan campuran *Superpave* terbukti menghasilkan performa perkerasan yang lebih unggul dalam pengantisipasi kondisi ekstrim di Negara Sudan.

Berdasarkan hasil kajian penelitian sebelumnya, dapat ditarik kesimpulan bahwa penggunaan perkerasan dengan tipe gradasi *Superpave* dapat meningkatkan performa perkerasan akibat beban kendaraan maupun kondisi alam (lingkungan) sekalipun. Namun untuk mendapatkan hasil pembuktian yang lebih mendetail dan menjawab perbedaan performa antara kedua jenis perkerasan ini, maka hasil kajian pada penelitian-penelitian tersebut perlu ditelusuri dan dibuktikan secara lebih lanjut menggunakan analisis mekanistik-empiris pada program KENPAVE yang dikembangkan oleh Huang (1993). Penggunaan program KENPAVE diharapkan dapat menjawab pertanyaan terkait seberapa besar pengaruh penggunaan gradasi *Superpave* ataupun *Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)* dalam hal kinerja masing-masing perkerasan dalam kurun waktu tertentu. Menurut Huang (2004),

perencanaan desain perkerasan tidak cukup sebatas teori saja untuk mendapatkan hasil desain perkerasan secara realistis, namun perlu dilakukan pengamatan berupa prediksi kerusakan yang akan terjadi untuk mendapatkan perkerasan jalan yang baik. Perkerasan jalan yang baik adalah perkerasan jalan yang memiliki kemampuan untuk menahan terjadinya kerusakan pada fungsi struktur terutama berupa *fatigue cracking*, *rutting*, dan *permanent deformation* sebelum mencapai umur rencana. Rind, dkk (2017) menyimpulkan bahwa desain yang diperoleh dari analisis manual dan KENPAVE hampir sama, bahkan dengan penggunaan KENPAVE didapatkan keuntungan tambahan yaitu dapat digunakan untuk banyak lapisan sementara di sisi lain perhitungan manual untuk beberapa lapisan sangat rumit dan memakan waktu. Ramadhani dan Fauziah (2018) pada penelitiannya juga menyatakan bahwa penggunaan program KENPAVE akan memberikan keamanan desain perkerasan yang relatif lebih baik dikarenakan hasil data yang terjadi dapat memproyeksikan prediksi kerusakan perkerasan yang akan terjadi kedepannya. Penelitian serupa dengan penggunaan KENPAVE juga telah dilakukan oleh beberapa peneliti seperti yang dilakukan oleh Dinata, dkk (2017) pada studi kasus Jalan Karangmojo-Semin, Hakim dan Khusari (2019) pada studi kasus ruas Jalan Pakem-Prambanan, Suwanda dan Kushari (2019) pada studi kasus ruas Jalan Tempel – Pakem, serta Mahmuddin dan Fauziah (2019) pada kasus ruas Jalan Imogiri Timur.

Pada makalah ini, studi kasus penggunaan *Superpave* dan *AC-WC* mengadopsi data penelitian yang dilakukan oleh Hadi, dkk (2021) dengan dilakukan pengembangan lebih lanjut pada aspek proses analisis mekanistik-empiris yang mengadaptasi penggunaan permodelan viskoelastik dan elastik yang terdapat pada program KENPAVE. Selain itu, dilakukan pula pengimplementasian kedua jenis campuran perkerasan tersebut apabila diterapkan pada kondisi nyata dilapangan, yang dalam hal ini menggunakan studi kasus ruas Jalan Padjajaran, Yogyakarta. Hasil akhir dari penelitian ini menyajikan data berupa

prediksi performa layanan (umur layanan) dari kedua jenis perkerasan beserta proyeksi kerusakan awal dan akhir yang akan terjadi pada perkerasan tersebut dalam kurun waktu tertentu sehingga. Penelitian ini juga mengkomparasi *Superpave* dan *AC-WC* sehingga diharapkan dapat menjadi salah satu alternatif inovasi dalam perkembangan perkerasan *Superpave* di Indonesia.

Metode penelitian

Penelitian diawali dengan proses perhitungan nilai *stiffness modulus* untuk mendapatkan nilai *stiffness modulus of bitumen (Sbit)* melalui persamaan Ullidtz dan *stiffness modulus of mixture (Smix)* melalui persamaan Nottingham, kemudian dilanjutkan dengan proses desain perkerasan rencana (berpedoman pada metode Bina Marga 2017) yang menggunakan data Lalulintas Harian Rerata untuk menentukan bagan desain perkerasan yang sesuai beserta opsi alternatif tebal perkerasan yang dapat digunakan pada bagan desain tersebut. Setelah nilai *stiffness modulus* dan desain tebal perkerasan didapatkan, maka kedua data tersebut akan dikombinasikan dan dianalisis menggunakan permodelan viskoelastik dan elastik pada program KENPAVE untuk mengetahui prediksi umur pelayanan dari suatu perkerasan serta kategori kerusakan awal dan akhir yang akan terjadi pada kurun waktu tertentu. Terdapat dua jenis campuran yang akan dikomparasikan pada penelitian ini yaitu *Superpave* dan *AC-WC*.

Stiffness modulus

Stiffness merupakan sifat material yang menunjukkan kemampuan renggang pada tegangan tinggi dengan tidak diikuti regangan yang besar atau kemampuan mempertahankan terhadap deformasi. Material dengan nilai modulus elastisitas yang tinggi berdeformasi lebih kecil terhadap beban jika dibandingkan dengan material dengan modulus elastisitas lebih rendah. Dalam campuran perkerasan terdapat dua jenis kekakuan, yaitu *stiffness modulus of bitumen (Sbit)* dan *stiffness modulus of mixture (Smix)*. *Sbit* adalah sifat kekakuan yang dimiliki oleh bitumen atau

bahan ikat yang dipengaruhi beberapa faktor, seperti temperatur aspal, penetrasi aspal dan lama pembebanan yang diberikan. Sedangkan *Smix* merupakan kekakuan campuran perkerasan yang mampu menopang beban roda kendaraan yang dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti nilai *Sbit* dan konsentrasi volume agregat padat, konsentrasi volume bitumen, dan persen rongga udara yang ada di antara partikel-partikel agregat di dalam campuran agregat aspal yang sudah dipadatkan atau yang biasa disebut dengan *Void in Mineral Agregate (VMA)*. Secara rinci, perhitungan nilai *Sbit* dan nilai *Smix* dapat dilihat pada persamaan oleh Ullidtz (Persamaan 1 dan 2) dan persamaan oleh Nottingham (Persamaan 3 dan 4).

$$Sbit = 1,157 \times 10^{-7} \times t^{-0,368} \times 2,718^{-Pir} \times (Spr - T)^5 \quad (1)$$

Rumus ini berlaku apabila:

$$\begin{aligned} Spr - T &= 20^{\circ}C - 60^{\circ}C \\ t &= 0,01 \text{ detik s/d} 0,1 \text{ detik} \\ Pir &= -1 \text{ s/d} +1 \end{aligned}$$

dengan:

$$PIr = \frac{1951,4 - 500 \log Pr - 20 \times Spr}{50 \log Pr - Spr - 0,4} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} T &= \text{Temperatur aspal} \\ Pr &= \text{Recovered Penetration pada } 25^{\circ}C \\ Pi &= \text{Penetrasi awal} \\ t &= \text{Lama pembebanan} \end{aligned}$$

$$Smix = Sbit \times \left(1 + \frac{257,5 - 2,5 \times VMA}{n \times (VMA - 3)}\right)^n \quad (3)$$

dengan:

$$n = 0,83 \times \log \left(\frac{4 \times 10^4}{Sbit}\right) \quad (4)$$

Desain perkerasan rencana

Desain perkerasan rencana yang digunakan pada makalah ini mengikuti pedoman prosedur desain perkerasan lentur yang tertuang pada Manual Perkerasan Jalan (REVISI Juni 2017) Nomor 04/SE/Db/2017. Prosedur tersebut antara lain adalah sebagai berikut.

1. Menentukan umur rencana perkerasan.
2. Menentukan nilai *Equivalent Single Axle Load (ESAL)* sesuai umur rencana yang dipilih.

3. Menentukan tipe perkerasan.
4. Menentukan segmen tanah dasar dengan daya dukung yang seragam.
5. Menentukan struktur pondasi perkerasan.
6. Menentukan struktur perkerasan yang memenuhi syarat dari bagan desain yang tersedia pada Manual Perkerasan Jalan.

Analisis mekanistik-empiris dengan program KENPAVE

Metode mekanistik-empiris adalah suatu metode yang mengembangkan kaidah teoritis dan karakteristik material perkerasan, dilengkapi dengan perhitungan secara eksak terhadap respon struktur perkerasan terhadap beban sumbu kendaraan. Metode mekanistik-empiris memiliki keuntungan yaitu peningkatan reliabilitas dari desain, kemampuan untuk memprediksi jenis kerusakan, dan kemungkinan untuk memperkirakan data dari lapangan dan laboratorium yang terbatas.

Program KENPAVE merupakan *software* desain perencanaan perkerasan yang dikembangkan oleh Huang dengan proses analisis sebagai berikut.

1. Menentukan data *properties* material untuk pemodelan struktur yang terdiri dari data tebal lapisan, nilai modulus elastisitas (E), dan nilai *poisson ratio* pada setiap lapisan perkerasan yang akan dianalisis.
2. Menganalisis data lalu lintas yang terdiri dari periode waktu tinjauan analisis perkerasan, menghitung *Equivalent Single Axle Load (ESAL)*, dan menentukan detail beban sumbu roda kendaraan.
3. Melakukan pemodelan struktur perkerasan jalan dengan program KENPAVE dan untuk perkerasan layer menggunakan sub program KENLAYER dengan menggunakan dua pemodelan yakni pemodelan viskoelastik dan elastik.
4. Menentukan hasil *output* dari program KENLAYER untuk mengetahui respon tegangan-regangan yang terjadi akibat beban lalu lintas dari kedua pemodelan.

5. Menganalisis repetisi beban lalu lintas yang dihasilkan program KENPAVE dan menganalisa umur perkerasan dari kedua pemodelan.

Untuk mengetahui dan menganalisis umur perkerasan dari kedua pemodelan yang dijelaskan diatas, selanjutnya digunakan persamaan yang terdapat pada *Asphalt Institute* (1982) yang dapat dilihat pada Persamaan 5, 6, dan 7.

$$N_f = 0,0796 \times \epsilon_t^{-3,921} \times E^{-0,854} \quad (5)$$

dengan:

N_f = jumlah nilai beban pengulangan yang diijinkan untuk mengontrol *fatigue Cracking (ESAL)*,

ϵ_t = *tensile strain* di lokasi tinjauan kritis yang dihitung berdasarkan respon model struktur atau regangan tarik pada bagian bawah lapis permukaan (cm),

E = modulus elastisitas pada lapisan permukaan (KPa).

$$N_r = 1,365 \times 10^{-9} \times \epsilon_c^{-4,47} \quad (6)$$

dengan:

N_r = jumlah nilai repetisi beban yang diizinkan untuk mengontrol *rutting (ESAL)*,

ϵ_c = regangan tekan vertikal diatas lapisan dasar (cm).

$$N_d = 1,365 \times 10^{-9} \times \epsilon_c^{-4,47} \quad (7)$$

dengan:

N_d = jumlah nilai repetisi beban yang diizinkan untuk mengontrol *deformation (ESAL)*,

ϵ_c = regangan tekan vertikal dibawah lapisan pondasi bawah (cm).

Hasil dan pembahasan

Stiffness modulus

Perhitungan nilai *Sbit* dan *Smix* menggunakan data sekunder berupa nilai karakteristik material aspal dan karakteristik *marshall* jenis campuran *Superpave* dan *AC-WC* yang

diambil dari penelitian Hadi, dkk (2021). Data sekunder dan hasil perhitungan nilai *stiffness modulus* dapat dilihat pada Tabel 1, 2, dan 3.

Tabel 1. Karakteristik material aspal

Parameter	Hasil
Penetrasi (0,1 mm)	55,8
Titik Lembek (°C)	54

Tabel 2. Karakteristik *marshall standard*

Pengujian	<i>Superpave</i>	<i>AC-WC</i>
<i>VMA</i> (%)	18,42	20,19

Tabel 3. Nilai *stiffness modulus*

Nilai <i>Stiffness Modulus</i>	<i>Superpave</i>	<i>AC-WC</i>
<i>Sbit</i> (MPa)	7,11	7,11
<i>Smix</i> (MPa)	1357,11	980,57

Berdasarkan Tabel 3 dapat dilihat bahwa dengan penggunaan nilai *Sbit* yang sama, campuran bergradasi *Superpave* memiliki nilai *Smix* yang lebih tinggi dibandingkan dengan campuran yang bergradasi *AC-WC*, nilai tersebut memiliki selisih yang cukup signifikan yaitu sebesar 376,54 MPa. Tingginya nilai *Smix* pada campuran *Superpave* membuktikan bahwa campuran tersebut memiliki kemampuan ketahanan penyebaran pembebanan dari suatu campuran pada perkerasan dan kembali ke bentuk semula dibandingkan pada campuran bergradasi *AC-WC*. Dari segi volumetrik, tingginya nilai *Smix* merupakan dampak dari kecilnya nilai *VMA* yang terdapat pada campuran *Superpave*. Menurut Hadi, dkk (2021), rendahnya nilai *VMA* pada campuran tersebut merupakan korelasi antara tingginya nilai *VFWA* yang didapat dan relatif rendahnya nilai *VITM* yang ada sehingga perkerasan *Superpave* memiliki keterisian campuran yang lebih padat.

Desain perkerasan rencana

Desain perkerasan rencana pada penelitian ini menggunakan data Lalulintas Harian Rerata (LHR) pada ruas Jalan Padjajaran, Yogyakarta yang diproyeksikan untuk tahun 2021. Penyajian data tersebut secara rinci dapat dilihat pada Tabel 4. Data LHR didapatkan

dari Direktorat Jenderal Bina Marga Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Jawa Tengah-D.I. Yogyakarta Tahun (2021).

Tabel 4. LHR Jalan Padjajaran, Yogyakarta

Gol.	Jenis Kendaraan	LHR (kend/jam)
1	Motor	22431
2	Sedan, Jeep	2004
3	Pick-up	8468
4	Truk 2 As (Truk Kecil)	1617
5a	Bus Kecil	54
5b	Bus Besar	53
6a	Truk 2 As (Kargo Ringan)	1035
6b	Truk 2 As (Kargo Sedang)	1636
7a	Truk 3 As (Truk Gandeng)	0
7c	Truk Semi Trailer	17
8	Kendaraan Tidak Bermotor	120

Selain data LHR, data lainnya yang digunakan dalam proses perhitungan dan desain perkerasan pada penelitian ini antara lain adalah umur rencana desain perkerasan selama 20 tahun, faktor laju pertumbuhan lalu lintas secara garis besar untuk pulau Jawa dengan tipe arteri dan perkotaan yaitu sebesar 4,8%, faktor distribusi untuk jalan dua arah sebesar 0,5, serta faktor distribusi lajur untuk kriteria 3 lajur setiap arah yaitu sebesar 60% atau 0,6 (keseluruhan data berpedoman Manual Perkerasan Jalan Nomor 04/SE/Db/2017).

Berdasarkan data di atas, dapat diketahui nilai *Equivalent Single Axle Load (ESAL)* 5 dari kombinasi perhitungan data adalah sebesar 36.101.496 ESAL. Sesuai dengan prosedur desain perkerasan lentur yang tertuang pada Manual Perkerasan Jalan (REVISI Juni 2017) Nomor 04/SE/Db/2017, maka asumsi desain yang dapat diterapkan adalah desain yang berasal dari bagan desain 4, 3 dan 3B. Namun karena pada penelitian ini berfokus pada alternatif desain perkerasan lentur, maka desain alternatif perkerasan jalan yang dapat digunakan adalah 2 alternatif sebagaimana terlihat pada Tabel 5 dan 6.

Alternatif 1 merupakan desain perkerasan lentur yang berdasarkan pada pertimbangan biaya minimum menggunakan tambahan lapis perkerasan *CTB* (bagan desain – 3 pada kriteria F4).

Tabel 5. Alternatif 1

Lapis Perkerasan	BM 2017 (mm)
AC-WC	40
AC-BC	160
CTB	150
Pondasi Agregat Kelas A	150

Tabel 6. Alternatif 2

Lapis Perkerasan	BM 2017 (mm)
AC-WC	40
AC-BC	60
AC Base	180
Pondasi Agregat Kelas A	300

Alternatif 2 merupakan desain perkerasan lentur yang menggunakan aspal dengan lapis pondasi berbutir (bagan desain – 3B pada kriteria FFF7).

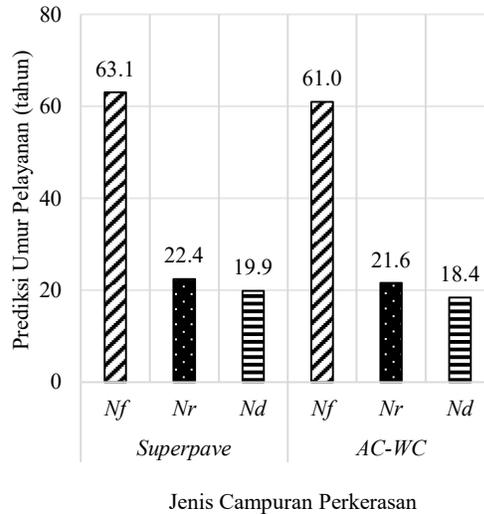
Analisis mekanistik-empiris dengan program KENPAVE permodelan viskoelastik

Permodelan viskoelastik digunakan untuk menganalisis layer aspal dengan menerapkan sifat viskoelastik dimana waktu pembebanan mempengaruhi perilaku aspal. Solusi dari layer viskoelastik ini diperoleh melalui prinsip koresponden elastik – viskoelastik dengan menerapkan *laplace transform* untuk menghilangkan variabel waktu (Huang, 2004). Hasil analisis mekanistik-empiris untuk campuran perkerasan *Superpave* dan *AC-WC* pada desain alternatif 1 dan alternatif 2 melalui permodelan viskoelastik disajikan pada Tabel 7 dan Gambar 1 dan 2.

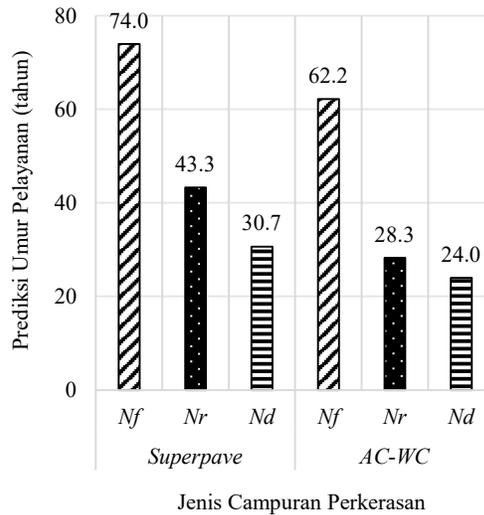
Tabel 7. Rekapitulasi analisis program KENPAVE permodelan viskoelastik

Jenis Perkerasan	Desain	Jenis Kerusakan	Beban Gandar Maksimum (ESAL)
<i>Superpave</i>	Alternatif 1	Nf	423.712.847
		Nr	43.257.590
		Nd	35.801.526
	Alternatif 2	Nf	721.540.586
		Nr	153.463.981
		Nd	74.540.738
<i>AC-WC</i>	Alternatif 1	Nf	405.071.086
		Nr	40.635.691
	Alternatif 2	Nd	31.845.555
		Nf	406.138.811

Alternatif 2	Nr	64.190.645
	Nd	48.390.133



Gambar 1. Prediksi umur pelayanan desain alternatif 1 dengan permodelan viskoelastik



Gambar 2. Prediksi umur pelayanan desain alternatif 2 dengan permodelan viskoelastik

Berdasarkan Tabel 7, dapat dilihat bahwa prediksi kerusakan yang akan terjadi pada permodelan viskoelastik kedua jenis campuran perkerasan tersebut adalah Nd, Nr, kemudian disusul oleh Nf. Hasil ini berlaku sama untuk penggunaan desain alternatif 1 dan alternatif 2. Nd sebagai prediksi

kerusakan awal dari permodelan viskoelastik sebelumnya juga terdapat pada penelitian yang dilakukan oleh Suwanda dan Khusari (2019) pada evaluasi studi kasus ruas Jalan Tempel – Pakem, sedangkan penelitian yang memiliki persamaan hasil N_f sebagai prediksi kerusakan akhir melalui permodelan viskoelastik sebelumnya telah disampaikan oleh Pambudi dan Fauziah (2021) pada penelitian yang berjudul Evaluasi Perancangan Struktur Perkerasan dengan Metode Bina Marga 2017 dan Program KENPAVE Menggunakan Pendekatan Elastik dan Viskoelastik (Studi kasus Jalan Simpang Pundu – Tumbang Samba).

Secara keseluruhan, perkerasan yang menggunakan campuran *Superpave* memiliki nilai beban gandar maksimum yang lebih tinggi jika dibandingkan perkerasan yang menggunakan campuran *AC-WC*. Tingginya nilai beban gandar maksimum salah satunya disebabkan oleh dominasi nilai S_{mix} yang dimiliki oleh campuran *Superpave* seperti yang sebelumnya telah dijelaskan oleh Hadi, dkk (2021). Pada desain alternatif 1 selisih tingginya nilai ESAL pada campuran *Superpave* terhadap campuran *AC-WC* adalah sebesar 18.641.761 pada N_f , 2.621.899 ESAL pada N_r dan 3.955.701 ESAL pada N_d . Selanjutnya pada desain alternatif 2 selisih tingginya nilai ESAL pada campuran *Superpave* terhadap campuran *AC-WC* adalah sebesar 315.401.775 ESAL pada N_f , 89.273.336 ESAL pada N_r dan 26.150.605 ESAL pada N_d .

Berdasarkan Gambar 1 dapat dilihat bahwa desain alternatif 1 tidak memenuhi syarat umur pelayanan yang direncanakan, hal ini terlihat pada rendahnya prediksi umur pelayanan sebelum N_d terjadi campuran perkerasan *Superpave* 19,9 tahun (di bawah 20 tahun) dan pada campuran *AC-WC* 18,4 tahun (di bawah 20 tahun). Selain itu, diketahui pula bahwa perkerasan yang menggunakan campuran *Superpave* relatif memiliki prediksi umur pelayanan yang lebih panjang 1,5 tahun (548 hari kalender) pada N_d , 0,8 tahun (292 hari kalender) pada N_r dan 2,1 tahun (767 hari kalender) pada N_f apabila

dibandingkan dengan perkerasan yang menggunakan campuran *AC-WC*.

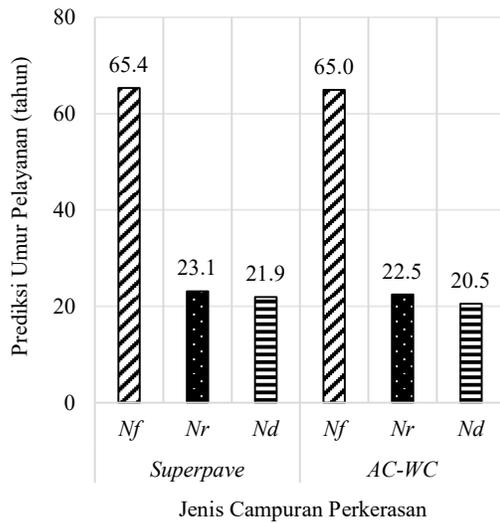
Berdasarkan Gambar 2 dapat diketahui bahwa perkerasan yang menggunakan campuran *Superpave* relatif memiliki prediksi umur pelayanan yang lebih panjang 6,7 tahun (2.445 hari kalender) pada N_d , 15 tahun (5.475 hari kalender) pada N_r dan 11,8 tahun (4.307 hari kalender) pada N_f apabila dibandingkan dengan perkerasan yang menggunakan campuran *AC-WC*. Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa penggunaan desain alternatif 2 pada permodelan viskoelastik penerapan campuran perkerasan *Superpave* ataupun penerapan campuran perkerasan *AC-WC* sama-sama telah memenuhi syarat umur rencana, yaitu diatas 20 tahun disetiap prediksi kerusakannya.

Analisis mekanistik-empiris dengan program KENPAVE permodelan elastik

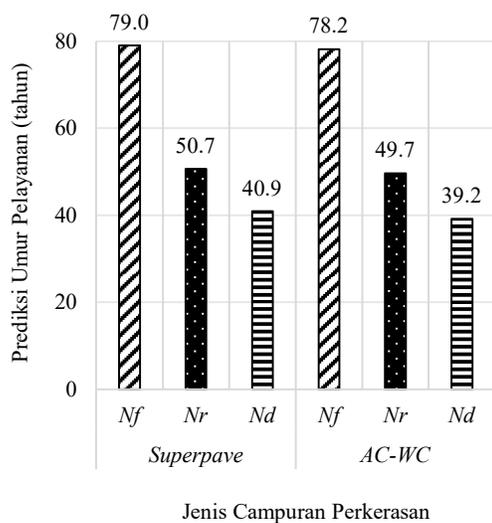
Permodelan elastik digunakan untuk menganalisis layer secara linear elastik dengan menghitung tegangan, regangan dan defleksi di struktur perkerasan yang permukaannya telah dibebani. Permodelan linear elastik ini menganggap bahwa setiap layer struktur perkerasan homogen, isotropis, dan elastis secara linear (Huang, 2004). Hasil analisis mekanistik-empiris untuk campuran perkerasan *Superpave* dan *AC-WC* pada desain alternatif 1 dan alternatif 2 melalui permodelan elastik disajikan pada Tabel 8 dan Gambar 3 dan 4.

Tabel 8. Rekapitulasi analisis program KENPAVE permodelan elastik

Jenis Perkerasan	Desain	Jenis Kerusakan	Beban Gandar Maksimum (ESAL)
<i>Superpave</i>	Alternatif 1	N_f	474.604.223
		N_r	45.485.370
		N_d	41.696.356
	Alternatif 2	N_f	922.168.224
		N_r	226.917.729
		N_d	135.052.640
<i>AC-WC</i>	Alternatif 1	N_f	465.609.690
		N_r	43.351.635
		N_d	37.645.893
	Alternatif 2	N_f	884.265.099
		N_r	215.176.089
		N_d	122.575.370



Gambar 3. Prediksi umur pelayanan desain alternatif 1 dengan permodelan elastik



Gambar 4. Prediksi umur pelayanan desain alternatif 2 dengan permodelan elastik

Berdasarkan Tabel 8 dapat dilihat bahwa perkerasan yang menggunakan campuran *AC-WC* memiliki nilai beban gandar maksimum yang lebih rendah jika dibandingkan perkerasan yang menggunakan campuran *Superpave*. Pada desain alternatif 1 selisih rendahnya nilai ESAL pada campuran *AC-WC* terhadap campuran *Superpave* adalah sebesar 8.994.533 ESAL pada *Nf*, 2.133.735 ESAL pada *Nr* dan 4.050.463 ESAL pada *Nd*.

Selanjutnya pada desain alternatif 2 selisih rendahnya nilai ESAL pada campuran *AC-WC* terhadap campuran *Superpave* adalah sebesar 37.903.125 ESAL pada *Nf*, 11.741.640 ESAL pada *Nr* dan 12.477.270 ESAL pada *Nd*.

Pada Tabel 8 dapat diketahui secara jelas bahwa berdasarkan prediksi kerusakan yang menggunakan permodelan elastik, perkerasan yang menggunakan campuran *Superpave* ataupun *AC-WC* memiliki prediksi kerusakan awal berupa *Nd* dan prediksi kerusakan akhir berupa *Nf* pada desain alternatif 1 maupun desain alternatif 2. Prediksi kerusakan awal dan kerusakan akhir ini selaras pada beberapa penelitian terdahulu seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Dinata, dkk (2017) mengenai studi kasus berupa evaluasi tebal perkerasan lentur dengan metode analisa komponen menggunakan program KENPAVE, pada penelitian yang dilakukan oleh Hakim dan Kushari (2019) mengenai evaluasi studi kasus ruas Jalan Pakem – Prambanan, pada penelitian yang dilakukan oleh Mahmuddin dan Fauziah (2019) mengenai studi kasus analisis lapis tebal perkerasan lentur dengan metode empirik dan metode mekanistik-empirik dengan program KENPAVE pada ruas Jalan Imogiri Timur, serta penelitian yang dilakukan oleh Hadi dan Fauziah (2020) mengenai sensitivitas kinerja struktur campuran *Superpave* terhadap pengaruh variasi tipe bahan ikat dan kecepatan kendaraan.

Gambar 3 secara langsung menjelaskan bahwa penggunaan desain alternatif 1 dapat diterapkan karena telah memenuhi umur pelayanan minimal 20 tahun. Secara keseluruhan, perkerasan yang menggunakan campuran *AC-WC* relatif memiliki prediksi umur pelayanan yang lebih singkat 1,4 tahun (511 hari kalender) pada *Nd*, 0,6 tahun (219 hari kalender) pada *Nr* dan 0,4 tahun (146 hari kalender) pada *Nf* apabila dibandingkan dengan perkerasan yang menggunakan campuran *Superpave*.

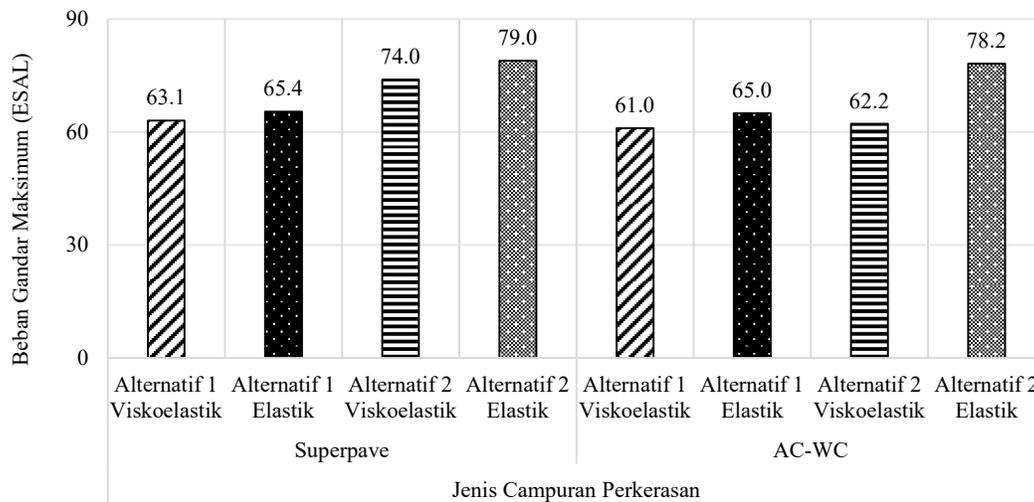
Berdasarkan Gambar 4, dapat diketahui bahwa penggunaan desain alternatif 2 dapat diterapkan karena telah memenuhi umur pelayanan minimal 20 tahun. Apabila

diperhatikan secara keseluruhan, perkerasan yang menggunakan campuran *AC-WC* relatif memiliki prediksi umur pelayanan yang lebih singkat 1,7 tahun (621 hari kalender) pada N_d , 1 tahun (365 hari kalender) pada N_r dan 0,8 tahun (292 hari kalender) pada N_f apabila dibandingkan dengan perkerasan yang menggunakan campuran *Superpave*.

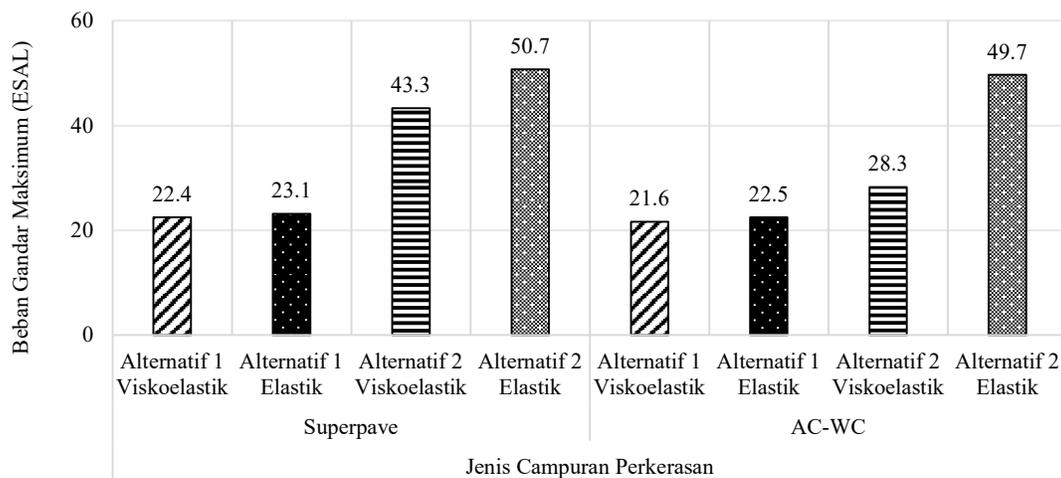
Komparasi prediksi umur pelayanan pada permodelan viskoelastik dan elastik

Komparasi prediksi umur pelayanan pada permodelan viskoelastik dan elastik

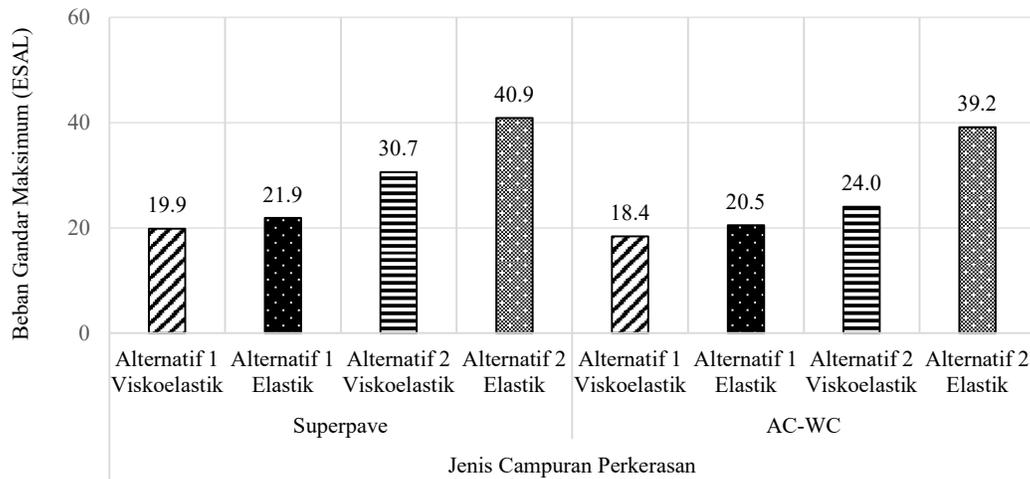
dimaksudkan untuk mengetahui perbandingan durasi umur pelayanan yang dapat dicapai oleh kedua jenis campuran perkerasan tersebut. Berdasarkan hasil prediksi umur pelayanan perkerasan pada setiap permodelan dan desain alternatif yang telah dianalisis, maka komparasi prediksi umur pelayanan dapat diketahui dengan cara menyandingkan data antara campuran perkerasan tersebut. Secara rinci, komparasi prediksi umur pelayanan antara *Superpave* dan *AC-WC* disetiap alternatif dapat dilihat pada Gambar 5, 6, dan 7.



Gambar 5. Komparasi prediksi umur pelayanan pada permodelan viskoelastik dan elastik untuk jenis kerusakan N_f



Gambar 6. Komparasi prediksi umur pelayanan pada permodelan viskoelastik dan elastik untuk jenis kerusakan N_r



Gambar 7. Komparasi prediksi umur pelayanan pada permodelan viskoelastik dan elastik untuk jenis kerusakan N_d

Berdasarkan data yang disajikan pada Gambar 5, 6, dan 7, dapat diketahui bahwa permodelan viskoelastik akan menghasilkan nilai prediksi umur pelayanan yang relatif lebih singkat jika dibandingkan dengan permodelan elastik. Hasil yang sama juga didapatkan pada penelitian Pambudi dan Fauziah (2021) pada studi kasus analisis perkerasan eksisting ruas Jalan Simpang Pundu – Tumbang Samba dengan hasil selisih prediksi umur pelayanan selama 2 tahun lebih singkat pada penggunaan permodelan viskoelastik. Hasil ini merupakan korelasi dari besarnya nilai regangan yang didapatkan pada proses penganalisisan sebelumnya. Menurut Mejlun, dkk (2017) tingginya nilai regangan pada permodelan viskoelastik disebabkan campuran aspal merupakan material yang memiliki sifat viskoelastik, sehingga pada suhu pembebanan yang tinggi maka sifat visko akan muncul dan mengakibatkan nilai regangan yang lebih besar. Sementara pada permodelan elastik, campuran aspal dianggap tidak terpengaruh oleh suhu pembebanan sehingga nilai regangan terlihat lebih kecil.

Pada kajian performa campuran perkerasan yang berpedoman pada prediksi jenis

kerusakan awal, campuran *Superpave* memiliki kinerja yang lebih baik apabila dibandingkan dengan kinerja campuran *AC-WC*. Hal ini terlihat dari komparasi prediksi umur pelayanan *Superpave* yang relatif lebih dominan yaitu sebesar 7,5% pada alternatif 1 permodelan viskoelastik, 6,4% pada alternatif 1 permodelan elastik, 21,8% pada alternatif 2 permodelan viskoelastik dan 4,2% pada alternatif 2 permodelan elastik.

Jika dilihat pada Gambar 5, 6, dan 7, umur pelayanan perkerasan dengan penggunaan alternatif 1 khususnya pada permodelan viskoelastik untuk kerusakan awal N_d tidak memenuhi syarat yang telah ditetapkan yaitu > 20 tahun, sehingga alternatif tersebut tidak disarankan penggunaannya. Pada Gambar yang sama, dapat diketahui bahwa peningkatan prediksi umur pelayanan dalam penggunaan campuran *Superpave* akan lebih signifikan meningkat apabila menggunakan desain alternatif 2. Peningkatan yang terjadi pada penggunaan desain alternatif 2 adalah sebesar 35,2% untuk permodelan viskoelastik dan sebesar 46% untuk permodelan elastik.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis pengolahan data dan pembahasan dalam penelitian ini, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Campuran perkerasan *Superpave* memiliki prediksi umur pelayanan yang lebih panjang apabila dibandingkan dengan campuran *AC-WC* yaitu dengan presentasi dominasi sebesar 7,5% pada alternatif 1 permodelan viskoelastik, 6,4% pada alternatif 1 permodelan elastik, 21,8% pada alternatif 2 permodelan viskoelastik dan 4,2% pada alternatif 2 permodelan elastik.
2. Pada permodelan KENPAVE, persepsi mengenai pengaruh suhu pembebanan terhadap campuran aspal sangat berdampak pada hasil prediksi nilai beban gandar minimum dan prediksi umur pelayanan perkerasan. Apabila campuran perkerasan dianggap tidak terpengaruh oleh suhu pembebanan (permodelan elastik) maka akan menghasilkan campuran perkerasan yang memiliki prediksi nilai beban gandar minimum yang relatif lebih tinggi dan prediksi umur pelayanan yang lebih panjang apabila dibandingkan dengan anggapan bahwa campuran aspal akan terpengaruh oleh suhu pembebanan (permodelan viskoelastik).
3. Pada penelitian ini, desain alternatif 2 atau desain perkerasan lentur yang menggunakan aspal dengan lapis pondasi berbutir (bagan desain – 3B) pada kriteria FFF7 akan memberikan dampak berupa peningkatan nilai prediksi umur pelayanan dalam penggunaan campuran *Superpave*. Peningkatan umur pelayanan yang terjadi adalah sebesar 35,2% untuk permodelan viskoelastik dan sebesar 46% untuk permodelan elastik.

Daftar pustaka

- Al-Khateeb, G. G., Ghuzlan, K. A., dan Al-Barqawi, M. O. (2017). "Effect of Superpave Restricted Zone on Volumetric and Compaction Properties of Asphalt Mmixtures", *International Journal of Pavement Research and Technology* 2017.
- Asphalt Institute. (1982). "*Research and Development of the Asphalt Institute's Thickness Design Manual (MS-1)*", RR-82-2, Ninth Edition, Maryland, USA.
- Dinata, I. D., Rahmawati, A., dan Setiawan, D. M. (2017). "Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur Dengan Metode Analisa Komponen Dari Bina Marga 1987 Dan Metode Aashto 1993 Menggunakan Program Kenpave (Studi Kasus: Jalan Karangmojo-Semin Sta 0+000 sampai Sta 4+050)", *Jurnal Ilmiah Semesta Teknik*, Vol. 20, No.1, 8-19.
- Hadi, M.A., dan Fauziah, M. (2019). "Perbandingan Karakteristik Campuran Superpave Antara yang Menggunakan Bahan Ikat Starbit E-55 dengan Pen 60/70 pada Variasi Durasi Rendaman Air Payau", *Civil Engineering and Environment Symposium* 2019.
- Hadi, M. A., dan Fauziah, M. (2020). "Sensitivitas Kinerja Struktur Campuran Superpave Terhadap Pengaruh Variasi Tipe Bahan Ikat dan Kecepatan Kendaraan", *Civil Engineering, Environmental, Disaster and Risk Management Symposium* 2020.
- Hadi, M. A., Fauziah, M., and Subarkah (2021). "Comparative Study of Marshall Properties and Durability of Superpave and AC-WC Pavement by Using Starbit E-55 and Pen 60/70". *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 933,1,012003,2021.
- Hakim, I. N., dan Kushari, B. (2019). "Kaji Ulang Desain Tebal Perkerasan Lentur Pada Ruas Jalan Pakem-Pramban Untuk Mengantisipasi Peningkatan Status Jalan", *Konferensi Nasional Inovasi Lingkungan Terbangun – FTSP UII* 2019.

- Huang, Y. H. (1993). *“Pavement Analysis and Design”*, 1st Edition, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Huang, Y. H. (2004). *“Pavement Analysis and Design”*, 2nd Edition, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Mahmuddin, A., dan Fauziah, M. (2019). “Analsis Lapis Tebal Perkerasan Lentur dengan Metode Empirik dan Metode Mekanistik-Empirik dengan Program KENPAVE pada Ruas Jalan Imogiri Timur”, *Seminar Nasional BAPPEDA Provinsi Jawa Tengah*.
- Mejlun, L., Judycki, J., dan Dolzycki, B. (2017). “Comparison of Elastic and Viscoelastic Analysis of Asphalt Pavement at High Temperature”, *Procedia Engineering*, 172 746 – 753.
- Menteri Pekerjaan Umum. (2017). *“Manual Perkerasan Jalan (Revisi Juni 2017) Nomor 04/SE/Db/2017”*, Direktorat Jenderal Bina Marga, Jakarta.
- Ramadhani, R. I., dan Fauziah, M. (2018). “Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur dengan Metode Bina Marga 2013 Dan Metode Mekanistik-Empirik Menggunakan Program Kenpave Pada Ruas Jalan Jogja–Solo”, *Civil Engineering and Environment Symposium 2018*.
- Pambudi, R. A., dan 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*.
- Rind T. A., Memon N. A., dan Qureshi, M. S. (2017). “Analysis and Design of Flexible Pavement Using Emperical-Mekanistic Base Software (KENPAVE)”, *International Conference on Sustainable Development in Civil Engineering 2017*.
- Strategic Highway Research Program (SHRP) A-407. (1994). “The Superpave Mix Design Manual for New Construction and Overlays”, *Strategic Highway Research Program National Research Council*.
- Suwanda, A., dan Kushari, B. (2019). “Analisis Perbandingan Desain Struktur Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Mekanistik Empiris Dengan Pendekatan Viskoelastik Dan Elastik Linier Pada Ruas Jalan Tempel – Pakem”, *Kolokium Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia*.
- Zumrawi, M. M. E., and Edrees, S. A. S. (2019). “Comparison of Marshall and Superpave Asphalt Design Methods for Sudan Pavement Mixes”, *International Journal of Scientific and Technical Advancements, Vol.2*.