

Kajian kinerja struktur perkerasan lentur dengan pendekatan elastik dan viskoelastik pada Jalan Cipatujah – Kalapagenep – Pangandaran

Rizky Arianto¹, Miftahul Fauziah^{1,*}

¹Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, Indonesia

Article Info

Available online

Keywords:

Bina Marga 2017
Mechanistic empiric
KENPAVE
Elastic
Viscoelastic

Corresponding Author:

Miftahul Fauziah
miftahul.fauziah@uii.ac.id

Abstract

Road pavement structures have a function to distribute loads from vehicle wheels to the subgrade surface. With the load that continues to occur over a period of time, it can cause some damage. This research was conducted to evaluate structural performance of the Cipatujah - Kalapagenep - Pangandaran Road section by using elastic and viscoelastic approach, using KENPAVE software. The strains and stresses obtained from the current design were reviewed to predict the damage and remaining service life of the pavement, then redesign with Bina Marga 2017 method is carried out if the current pavement cannot withstand the traffic load during its service life. The results showed that based on the elastic and viscoelastic approaches, the elastic design has a higher service life than the viscoelastic design. Based on the type of pavement design there is a difference in the type of damage that occurs earlier, design of layer by using AC Base showed that permanent deformation damage occurs first while pavement design using the CTB showed that rutting was earlier to happen..

Copyright © 2024 Universitas Islam Indonesia
All rights reserved

Pendahuluan

Latar Belakang

Jalan merupakan komponen yang penting dalam bidang perhubungan sebagai prasarana angkutan darat dalam memenuhi kebutuhan masyarakat baik dari ekonomi, sosial, dan budaya. Jalan yang memiliki kondisi baik dibutuhkan untuk meningkatkan kelancaran dari kegiatan transportasi yaitu memberikan rasa aman dan nyaman sehingga mempercepat mobilisasi kebutuhan-kebutuhan berupa barang atau jasa. Peningkatan jumlah beban lalu lintas dan arus dapat menurunkan kualitas struktur perkerasan jalan tersebut maka dari itu untuk menjaga kondisi jalan tersebut maka pekerjaan jalan harus memiliki konstruksi yang kuat sehingga dapat menjaga kualitas jalan tersebut.

Ruas Jalan Kalapagenep-Cipatujah-Pangandaran merupakan Jalan Nasional

yang memiliki panjang jalan ± 90 km. Menurut survei yang dilakukan oleh Badan Pusat Statistika Jawa Barat, jumlah wisatawan yang berkunjung ke daerah Pangandaran pada tahun 2019 sebesar ± 3,2 juta jiwa dan pada tahun 2021 sebesar ± 3,6 juta jiwa.

Kajian tentang evaluasi struktur perkerasan lentur telah banyak dilakukan oleh beberapa peneliti, diantaranya yang terbaru oleh Anisarida (2023) pada jalan di wilayah Selatan Jawa Barat, Saputra, dkk (2023) pada jalan di Sorong Papua, dan Sumarsono dan Fauziah (2022) pada jalan Yogya - Solo. Secara umum pada kondisi jalan cukup mulus dan baik tetapi di beberapa titik ditemukan jalan yang bergelombang dan berlubang, hal tersebut dapat mengurangi rasa aman dan kenyamanan bagi pengguna jalan. Evaluasi terhadap kualitas perkerasan jalan perlu dilakukan secara rutin agar dapat mengidentifikasi jenis pemeliharaan jalan

yang tepat. Penanganan masalah perkerasan yang rusak dibahas pada penelitian yang dilakukan oleh Mukhlis dan Abduh (2021) dan Sumarsono dan Fauziah (2022) dengan memberikan lapisan aspal tambahan untuk menjaga kualitas dari struktur perkerasan jalan tersebut.

Evaluasi dengan Bina Marga 2017 juga telah dilakukan oleh Sirait dkk (2020), didapatkan pada penelitian tersebut Ruas Jalan Kecipir, Kota Palangkaraya membutuh alternatif desain dengan penambahan lapisan AC untuk menahan beban lalu lintas yang terjadi. Pemilihan jenis perkerasan berdasarkan perhitungan data *LHR* diperoleh desain dengan *AC Base* dan desain dengan *CTB*. Penggunaan desain tersebut sudah dipublikasikan dalam beberapa penelitian seperti Pambudi dan Fauziah (2021) untuk desain alternatif dengan *CTB* dan Karnurin dan Fauziah (2020) untuk desain alternatif dengan *AC Base*. Analisis dengan pendekatan elastik dan viskoelastik juga diterapkan oleh Hadi dan Fauziah (2022) dan Lia dan Mahardi (2022), penelitian tersebut mendapatkan hasil yang serupa yaitu pada desain elastik memiliki umur layan perkerasan yang lebih panjang dibanding dengan desain viskoelastik.

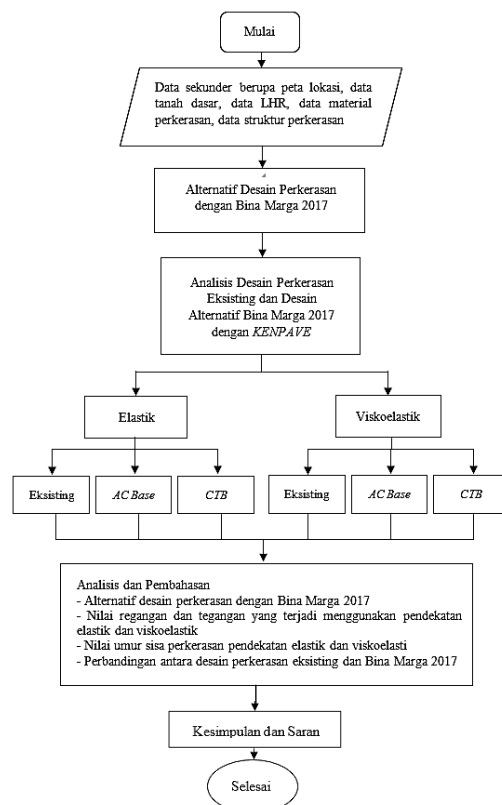
Berdasarkan hasil desain dengan Bina Marga 2017 dilakukan analisis mekanistik-empirik dengan program *KENPAVE* untuk mendapatkan nilai regangan dan tegangan akibat beban lalu lintas. Pada analisis ini menggunakan pendekatan elastik dan viskoelastik.

Metode Penelitian

Struktur perkerasan yang dikaji adalah ruas Jalan Kalapagenep–Cipatujah–Pangandaran sepanjang 1.200 meter. Jalan tersebut merupakan jalan lintas Selatan yang menghubungkan berbagai kota di wilayah Jawa Barat seperti disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian (Google, 2023)



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

Analisis diawali dengan perhitungan desain perkerasan berdasar metode Bina Marga 2017. Berdasar desain yang telah dihitung selanjutnya dilakukan analisis untuk mendapatkan regangan, tegangan dan prediksi kerusakan dan umur layan pada struktur perkerasan eksisting dan hasil perhitungan awal. Berdasar prediksi umur layan selanjutnya dianalisis alternatif desain dengan modifikasi tipe bahan susun dan tebal lapisan dengan dua alternatif lapisan yaitu lapisan dengan menggunakan lapis pondasi berupa *AC-Base* dan *Cemented Treated Base (CTB)*. Analisis tegangan regangan untuk setiap alternatif desain dan struktur perkerasan eksisting dilakukan

dengan metode mekanistik empirik dengan pendekatan elastik dan viskoelastik dengan menggunakan *software Kenpave*.

Analisis Desain Perkerasan

a. Desain perkerasan lentur dengan Bina Marga 2017

Data lalu lintas harian tahun 2019 dan 2020 pada ruas Jalan Cipatujah-Kalapagenep-Pangandaran diperoleh dari P2JN Jawa Barat.

Tabel 1. Lalu Lintas Harian Rata-rata

Gol.	LHR 2019 (kend/jam)	LHR 2020 (kend/jam)
1	10174	10052
2	2840	2071
3	246	1278
4	17	1065
5a	219	145
5b	201	61
6a	278	659
6b	396	467
7a	159	112
7b	18	15
7c	17	17

Sumber : P2JN Jawa Barat (2022)

Umur rencana ditetapkan 20 tahun dengan masa layanan sejak jalan dibuka pada tahun 2022 hingga tahun 2042. Berdasarkan data LHR tahun 2019 hingga 2020 pada Tabel 1 dan Tabel 2, maka angka pertumbuhan lalu lintas dapat dihitung sebesar 14,84 % per tahun.

Tabel 2. Data Pertumbuhan Lalu Lintas

Gol.	LHR 2019 (smp/jam)	LHR 2020 (smp/jam)
2,3,4	3103	4414
5a	284.7	188.5
5b	261.3	79.3

Lanjutan Tabel 2. Data Pertumbuhan Lalu Lintas

Gol.	LHR 2019 (smp/jam)	LHR 2020 (smp/jam)
6a	361.4	856.7
6b	514.8	607.1
7a	206.7	145.6
7b	23.4	19.5
7c	191.1	22.1
Total	9016	10353,6

Ruas Jalan Cipatujah-Kalapagenep-Pangandaran menggunakan sistem 2 arah sehingga faktor distribusi (DD) sesuai pada Bina Marga 2017 adalah 0,5, dan faktor distribusi lajur (DL) 100%

Nilai *VDF 4* dan nilai *VDF 5* (Tabel 3) selanjutnya digunakan untuk menghitung *CESA 4* dan *CESA 5*.

Tabel 3. Nilai *VDF* tiap Jenis Kendaraan

Gol.	VDF 4 Aktual	VDF 5 Aktual
2,3,4	-	-
5A	0,3	0,2
5B	1	1
6A	0,55	0,5
6B	5,3	9,2
7A	8,2	14,4
7B	11,8	18,2
7C	11	19,8

Sumber : Bina Marga 2017

Perhitungan *Commulatif standard Axle Load (CESAL)* dilakukan untuk mendapatkan jumlah beban lalu lintas dan umur rencananya secara keseluruhan, dengan Persamaan 1, dan hasilnya disajikan pada Tabel 4.

$$ESA = (\sum LHR \times VDF) \times R \times DD \times 365 \times DL \quad (1)$$

dengan

ESA : kumulatif lintasan sumbu ekivalen

Σ LHR : lalulintas harian rerata kendaraan

VDF : faktor ekivalen tiap kendaraan

DD : faktor distribusi arah

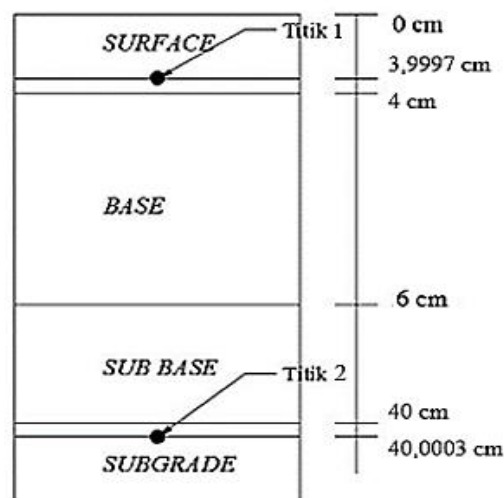
DL : faktor distribusi jalur

Tabel 4. Perhitungan CESA4 dan CESA5

Jenis Kendaraan	LHR 2022	ESA4 (22-42)	ESA4 (22-42)
1	13257	-	-
2,3,4	5822	-	-
5A	192	213231	142154
5B	81	299855	299855
6A	870	1771368	1610335
6B	616	12086024	20979514
7A	148	4492649	7889529
7B	20	873653	1347498
7C	23	936585	1685854
CESA 20 Tahun		20673365	32232979
		20,67	33,95

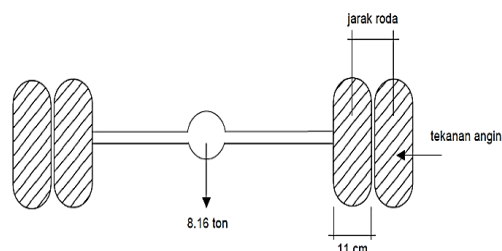
b. Analisis Mekanistik Empirik dengan KENPAVE

Analisis mekanistik empirik dilakukan dengan program KENPAVE, yang dikembangkan oleh Huang (1993). Titik tinjauan vertikal disesuaikan dengan tipe kerusakan. Titik tinjau 2 pada bagian bawah perkerasan, digunakan untuk menganalisis kerusakan *permanent deformation*, sedangkan kerusakan berupa *rutting* dan *fatigue cracking* ditinjau pada titik1 (Gambar 2).



Gambar 2. Titik Tinjau

Titik tinjau arah horizontal disesuaikan dengan beban gandar standar, yaitu beban sumbu tunggal beroda ganda seberat 8,16 ton, dengan detail letak titik dijelaskan pada Gambar 3 dan Gambar 4

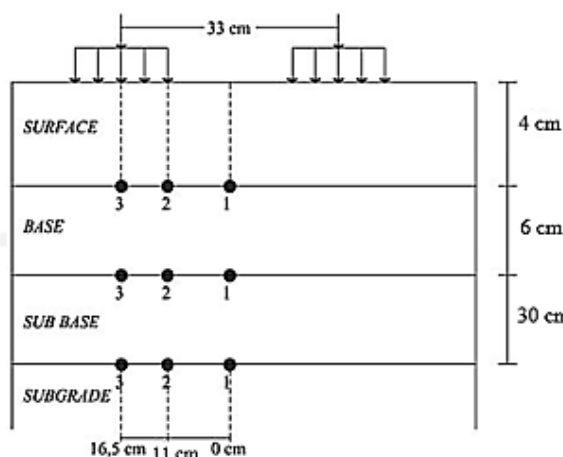


Gambar 3. Sumbu Standar Ekivalen

Sumber: Sukirman (1992)

c. Analisis Prediksi Kerusakan Perkerasan

Analisis mekanistik empirik dengan aplikasi KENPAVE menghasilkan nilai regangan-tegangan yang dapat memprediksi kerusakan.



Gambar 4. Letak Titik Tinjauan Sumbu Standar Ekuivalen

Jumlah repetisi beban yang terjadi menghasilkan regangan tegangan pada bagian bawah permukaan perkerasan lentur, sehingga menyebabkan terjadinya kerusakan. Jumlah repetisi beban untuk menghasilkan tiap jenis kerusakan dapat dihitung dengan Persamaan 2 dan 3.

Kerusakan *fatigue cracking*

$$N_f = 0,0796 (\epsilon_t)^{-3,921} |E|^{-0,854} \quad (2)$$

dengan:

N_f : jumlah repetisi beban sampai terjadi *fatigue cracking*

ϵ_t : *tensile strain* di bagian bawah aspal

$|E|$: modulus elastis pada lapis permukaan.

Kerusakan *rutting* dan *permanent deformation*

$$N_d = f_4 (\epsilon_c)^{-f_5} \quad (3)$$

dengan:

N_d : jumlah repetisi beban yang diijinkan

$f_4 f_5$: *tensile strain* di bagian bawah aspal

ϵ_c : tegangan regangan secara vertikal.

d. Nilai Sisa Pelayanan Jalan

Umur layan struktur perkerasan merupakan kemampuan struktur perkerasan jalan dalam menahan beban yang dihasilkan oleh lalu lintas secara berulang hingga jalan tersebut membutuhkan adanya perbaikan.. Persamaan berikut digunakan untuk menghitung nilai umur sisa layan.

$$RL = 100 \left(1 - \frac{NP}{N_{1,5}}\right) \quad (4)$$

dengan:

RL = *Remaining Life* (%),

NP = Total *Traffic* yang telah melewati perkerasan (ESAL), dan

$N_{1,5}$ = Total *Traffic* pada kondisi perkerasan berakhir (*failure*) (ESAL).

Hasil dan Pembahasan

Desain eksisting pada Jalan Cipatujah-Kalapagenep-Pangandaran berdasarkan data yang didapat dari P2JN wilayah Jawa Barat. Perancangan desain struktur perkerasan dengan Bina Marga 2017 berdasarkan data VDF, CBR, LHR, faktor distribusi arah dan faktor distribusi jalur didapatkan *CESA5* sebesar $33,95 \times 10^6$ maka untuk desain dengan *CTB* menggunakan desain F2 dan untuk desain dengan *AC Base* menggunakan desain FFF6. Rekapitulasi jenis dan tebal perkerasan dirangkum pada Tabel 6.

Tabel 6. Rekapitulasi Jenis dan Tebal Desain Perkerasan

Lapisan Perkerasan	Jenis Perkerasan	Desain Tebal Perkerasan (cm)				
		Eksisting	AC Base	CTB	Alternatif AC Base	Alternatif CTB
Surface	AC-WC	4	4	4	4	5
	AC-BC	-	6	-	6	-
Base	AC-BC	5	-	16	-	30
	AC Base	-	18	-	24,5	-
	CTB	-	-	15	-	15
Sub Base	LPA Kelas A	30	30	15	33	15

Berdasarkan Tabel 6, perbandingan antara desain dengan AC Base dan desain dengan CTB terdapat pada pemilihan jenis material di setiap lapisannya, untuk desain dengan AC Base menggunakan AC-WC dan AC-BC pada lapisan surface kemudian penggunaan AC Base sebagai lapisan Base dan LPA sebagai lapisan Sub Base sedangkan pada desain dengan CTB hanya menggunakan AC-WC pada lapisan surface dan penambahan CTB di lapisan Sub Base.

Pada perbandingan ketebalan, desain dengan AC Base memiliki ketebalan yang lebih

tinggi dibandingkan dengan desain CTB. Setiap alternatif desain perkerasan dianalisis menggunakan KENPAVE dengan pendekatan elastik dan viskoelastik, sehingga didapatkan nilai regangan dan tegangan untuk setiap pendekatan.

Nilai regangan dan tegangan maksimum yang terjadi pada struktur perkerasan jalan dengan desain eksisting, Bina Marga 2017 dan juga alternatif desain perkerasan yang dirangkum pada Tabel 7 dan Tabel 8.

Tabel 7. Rekapitulasi Tegangan dan Regangan Maksimum dengan Pendekatan Elastik

Desain Perkerasan	Elastik					
	Fatigue		Rutting		Permanent deformation	
	Tegangan (kPa)	Regangan (10 ⁻⁶)	Tegangan (kPa)	Regangan (10 ⁻⁶)	Tegangan (kPa)	Regangan (10 ⁻⁶)
Desain Eksisting	428,122	0,999	454,683	0,0306	79,218	0,0801
Desain dengan AC Base	179,580	0,605	370,317	0,00206	21,745	0,00334
Desain dengan CTB	405,091	0,665	519,119	0,00245	26,052	0,00285
Desain Alternatif dengan AC Base	187,356	0,543	391,256	0,00204	14,128	0,00216
Desain Alternatif dengan CTB	296,262	0,587	510,225	0,00214	14,140	0,00202

Tabel 8. Rekapitulasi Tegangan dan Regangan Maksimum dengan Pendekatan Viskoelastik

Desain Perkerasan	Viskoelastik					
	<i>Fatigue</i>		<i>Rutting</i>		<i>Permanent deformation</i>	
	Tegangan (kPa)	Regangan (10 ⁻⁶)	Tegangan (kPa)	Regangan (10 ⁻⁶)	Tegangan (kPa)	Regangan (10 ⁻⁶)
Desain Eksisting	392,466	0,0103	461,363	0,0336	82,488	0,0018
Desain dengan <i>AC Base</i>	217,266	0,669	384,691	0,00232	22,581	0,00346
Desain dengan <i>CTB</i>	357,325	0,671	526,383	0,00267	24,135	0,00301
Desain Alternatif dengan <i>AC Base</i>	217,266	0,548	384,690	0,00219	22,851	0,00221
Desain Alternatif dengan <i>CTB</i>	262,854	0,593	510,354	0,00219	13,894	0,00209

Berdasarkan titik tinjau pengulangan beban pada Gambar 4, tegangan dan regangan maksimum baik dari pendekatan elastik maupun viskoelastik umumnya terjadi pada titik tinjau ke-1. Pada perbandingan desain perkerasan, desain dengan *CTB* memiliki nilai tegangan yang paling besar pada pendekatan elastik dan viskoelastik dibandingkan dengan desain struktur lainnya. Nilai regangan terbesar terdapat pada desain struktur eksisting dikarenakan

desain eksisting memiliki ketebalan lapisan yang lebih tipis dibandingkan dengan desain perkerasan lainnya.

Berdasarkan nilai regangan dan tegangan maksimum pada Tabel 7 dan Tabel 8 maka analisis repetisi beban lalu lintas dengan Persamaan 2 untuk kerusakan *fatigue* dan Persamaan 3 untuk kerusakan *rutting* dan *permanent deformation* dengan hasil pada Tabel 9.

Tabel 9. Rekapitulasi Repetisi Beban hingga Terjadi Kerusakan

Jenis Perkerasan	Pendekatan Elastis			Pendekatan Viskoelastis		
	Jenis Kerusakan			Jenis Kerusakan		
	<i>Fatigue</i> (ESAL 10 ⁶)	<i>Rutting</i> (ESAL 10 ⁶)	<i>Permanent Deformation</i> (ESAL 10 ⁶)	<i>Fatigue</i> (ESAL 10 ⁶)	<i>Rutting</i> (ESAL 10 ⁶)	<i>Permanent Deformation</i> (ESAL 10 ⁶)
Desain Eksisting	6,71	6,71	1,67	6,71	3,35	1,67
Desain dengan <i>AC Base</i>	39,7	42,9	3,35	28,7	25,3	3,35
Desain dengan <i>CTB</i>	28,7	18,5	10,1	28,7	13,4	6,71
Desain Alternatif dengan <i>AC Base</i>	57,4	44,5	34,9	55,8	33,9	33,9
Desain Alternatif dengan <i>CTB</i>	44,5	34,9	47,7	42,9	33,9	39,7

Dengan didapatkannya nilai repetisi beban hingga terjadi kerusakan maka analisis dilanjutkan dengan perhitungan umur layan perkerasan.

Nilai umur layan didapatkan dengan analisis dengan menghitung jumlah beban lalu lintas dan total repetisi beban ijin yang dinyatakan dengan satuan 18-Kip ESAL dengan Persamaan 4 sebagai berikut pada Tabel 10.

Tabel 10. Rekapitulasi Umur Layan Struktur Perkerasan

Jenis Perkerasan	Pendekatan Elastis			Pendekatan Viskoelastis		
	Jenis Kerusakan			Jenis Kerusakan		
	<i>Fatigue</i> (tahun)	<i>Rutting</i> (tahun)	<i>Permanent Deformation</i> (tahun)	<i>Fatigue</i> (tahun)	<i>Rutting</i> (tahun)	<i>Permanent Deformation</i> (tahun)
Desain Eksisting	4	4	1	4	2	1
Desain <i>AC Base</i>	25	27	2	17	15	2
Desain <i>CTB</i>	17	11	6	17	8	4
Desain Alternatif <i>AC Base</i>	36	28	22	35	20	20
Desain Alternatif <i>CTB</i>	28	22	30	27	20	25

Pada nilai umur sisa layan desain eksisting dengan permodelan elastik telah terjadi kerusakan secara beruntun yaitu *fatigue* tahun ke – 5, *rutting* tahun ke – 4 dan *permanent deformation* pada tahun – 1 sedangkan pada pendekatan viskoelastik terjadi kerusakan secara beruntun yaitu *fatigue* tahun ke – 4, kerusakan *rutting* tahun ke – 3 dan kerusakan *permanent deformation* pada tahun – 1 sehingga desain eksisting dianggap tidak mampu dalam menahan beban yang diberikan oleh lalu lintas.

Berdasarkan pendekatan yang digunakan yaitu pendekatan elastik dan viskoelastik, elastik memiliki umur layan yang lebih tinggi dibandingkan dengan pendekatan viskoelastik, begitu juga pada penelitian yang telah dilakukan oleh Pradasari dan Fauziah (2023) dan Satria (2022) memiliki umur layan dengan pendekatan elastik lebih baik daripada umur layan dengan pendekatan viskoelastik.

Perbedaan antara desain Bina Marga 2017 terlihat pada perbedaan terjadinya

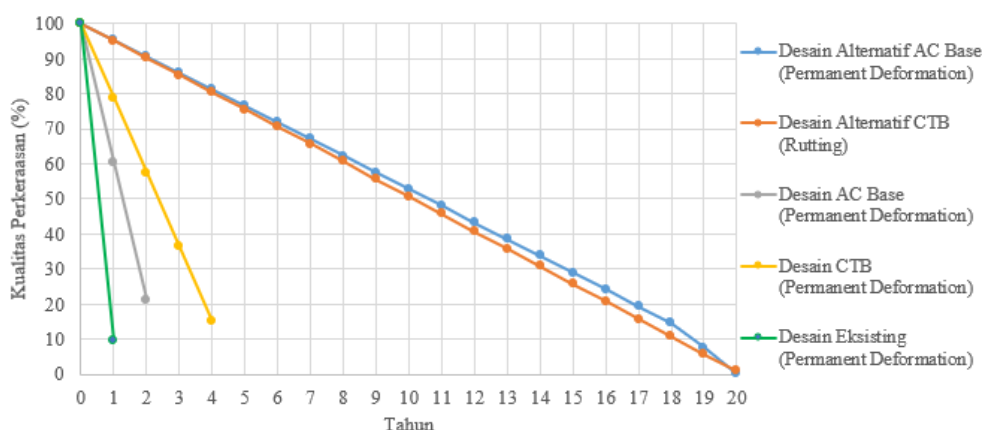
kerusakan seperti pada desain *AC Base* memiliki umur layan pada *rutting* lebih tinggi daripada desain *CTB*, hal ini disebabkan oleh adanya perbedaan pada ketebalan *surface* desain tersebut. Pada desain *AC Base* memiliki tebal *surface* sebesar 12 cm sedangkan pada Desain *CTB* hanya memiliki tebal *surface* sebesar 5 cm.

Perbedaan terjadi juga pada umur sisa layan pada kerusakan *permanent deformation*, desain *CTB* memiliki nilai umur sisa layan pada kerusakan *permanent deformation* lebih tinggi daripada desain *AC Base*. Hal itu dikarenakan adanya perbedaan material pada lokasi kerusakan *permanent deformation* yaitu pada lapisan *subbase*, Desain *CTB* menggunakan campuran agregat dengan sejumlah semen *portland* yang memiliki kekakuan dan kekerasan yang lebih tinggi selain itu material *CTB* memiliki daya tahan dalam menghadapi kerusakan akibat perubahan temperatur yang disebabkan oleh cuaca. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Saputro dkk (2021), perbandingan biaya antara desain

AC dengan desain *CTB* didapatkan bahwa biaya pada desain AC lebih rendah dibandingkan dengan desain *CTB*.

Berdasarkan kerusakan awal yang terjadi pada pendekatan viskoelastik, pada desain perkerasan hanya desain alternatif

yang memiliki kerusakan awal berupa kerusakan *rutting* sedangkan untuk desain perkerasan lainnya terjadi kerusakan awal berupa kerusakan *permanent deformation*. Berikut Gambar 4 adalah grafik untuk kerusakan awal yang terjadi pada desain struktur perkerasan.



Gambar 4. Grafik Kerusakan Awal pada Desain Perkerasan

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Pada desain alternatif dengan menggunakan *AC Base*, kerusakan yang paling awal terjadi berupa tipe kerusakan *permanent deformation*, sedangkan pada desain alternatif dengan menggunakan *CTB* terjadi kerusakan yang paling awal berupa kerusakan *rutting*. Secara umum desain dengan pendekatan elastik menghasilkan umur layan lebih panjang dibandingkan dengan pendekatan viskoelastik.

Saran

Dalam pemilihan desain perkerasan optimal dan efisien dari jenis perkerasan yang telah ditentukan, pada desain dengan *AC Base* terjadi kerusakan awal berupa *permanent deformation* sedangkan desain dengan *CTB* terjadi kerusakan awal pada *rutting*. Berdasarkan ketebalan perkerasan, desain dengan *CTB* memiliki ketebalan yang lebih tipis dibandingkan dengan desain dengan

AC Base maka disarankan diambil desain perkerasan yang lebih optimal dan efisien yaitu desain perkerasan dengan *CTB*.

DAFTAR PUSTAKA

- Anisarida, A. A., Prabowo, S., dan Seran, E. N. B. (2023). Metode Mekanistik-Empiris Untuk Mengevaluasi Tebal Perkerasan Lentur Menggunakan Program (Studi Kasus: Jalan Cibadak-Cikidang-Pelabuhan Ratu). *Jurnal Teknik Sipil Cendekia (JTSC)*, 4(1), 554-569.
- Huang, Y. H. (2004). *Pavement Analysis and Design*. Pearson Education, 2nd Edition.
- Hadi, M. A., dan Fauziah, M. (2022). Studi komparasi prediksi umur pelayanan antara campuran Superpave dan AC-WC menggunakan permodelan

- viskoelastik dan elastik. *Teknisia*, 27(2), 71-82.
- Karnurin, F dan Fauziah, M 2020. Perbandingan Desain Perkerasan Lentur Metode Empirik Dan Metode Mekanistik-Empirik Menggunakan Program *KENPAVE* Pada Ruas Jalan Milir-Sentolo. *Skripsi*, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
- Lia, N., dan Mahardi, P. 2022. Evaluasi Kinerja Struktur Perkerasan Jalan Lentur Menggunakan Aplikasi *KENPAVE*. *Skripsi*, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya
- Menteri Pekerjaan Umum. (2017). *Manual Perkerasan Jalan (Revisi Juni 2017) Nomor 04/SE/Db/2017*, Direktorat Jenderal Bina Marga, Jakarta
- Mukhlis, M., dan Abduh, M. 2021. Overlay Struktural Perkerasan Jalan Menggunakan Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP 2017) (Studi Kasus Jalan Hasyim Ashari Kota Jombang). In *Seminar Keinsinyuran*.
- Sirait, Ferdian Okky Saputra, dan Ina Elvina. "Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur (Flexible Pavement) Menggunakan Metode Manual Desain Perkerasan Tahun 2017." *Jurnal Teknika: Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Keteknikan 3.2* (2020): 186-197.
- Pambudi, R. A., dan Fauziah, M. 2021. *UP 303-314 Radityo* – Evaluasi Perancangan Struktur Perkerasan Dengan Metode Bina Marga 2017 Dan Program *KENPAVE* Menggunakan Pendekatan Elastik Dan Viskoelastik (Studi Kasus Jalan Simpang Pundu-Tumbang Samba), *Prosiding Seminar Nasional Hasil Penelitian dan Pengabdian Masyarakat*
- Pradasari, N. K. 2023. Evaluasi Rancangan Struktur Perkerasan Untuk Memprediksi Umur Layan Menggunakan Metode Bina Marga 2017, *AASHTO 1993* Dan Metode Mekanistik Empirik *KENPAVE*. *Tesis*, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
- Putra, J., dan Tajudin, A. N. (2021). Desain Ulang Dan Analisis Respons Struktural Perkerasan Lentur Pada Jalan Pantura Ruas Tangerang-Serang. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 23-32.
- 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*
- Satria, M. I. F. 2022. Analisis Perbandingan Desain Mekanistik Empiris Struktur Perkerasan Lentur Dengan Pemodelan Elastik Dan Viskoelastik : Studi Kasus Pada Ruas Jalan Milir-Sentolo. *Skripsi*, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
- Saputro, W. T., Yudianto, E. A., dan Ma'ruf, A. (2021). Studi Perbandingan Metode Bina Marga 2017 Dan *AASHTO 1993*. *Student Journal Gelagar*, 3(1), 166-173.
- Saputra, A., Purwanto, E., dan Fauziah, M. (2023). Alternatif Desain Perkerasan Jalan dan Perkuatan Lereng Longsor. *Rekayasa Sipil*, 17(2), 192-198
- Sumarsono, A., dan Fauziah, M. 2022. Evaluasi Kondisi Perkerasan Penanganan Dan Nilai Sisa Perkerasan Lentur Jalan Dengan Metode Bina Marga 2013 Dan Metode Mekanistik Empirik (Studi Kasus: Jalan Jogja-Solo Km 14+ 800–16+ 800). *TEKNIKA: Jurnal Teknik*, 9(1), 10-27.

Sukirman, S. 1992. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. NOVA. Bandung