

ANALISIS DESAIN PERKERASAN LENTUR BERDASARKAN MDPJ 2017 MENGUNAKAN METODE MEKANISTIK EMPIRIS PADA PROGRAM KENPAVE

Edi Yusuf Adiman¹ dan Agus Yuda Pranata²

¹Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau, Jl. HR Soebrantas KM. 12,5, Pekanbaru
edi.yusuf@eng.unri.ac.id

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Riau, Jl. HR Soebrantas KM. 12,5, Pekanbaru
agus.yuda1292@student.unri.ac.id

Masuk: 19-10-2023, revisi: 11-12-2023, diterima untuk diterbitkan: 22-02-2024

ABSTRACT

This study uses mechanistic-empirical approaches with the Kenpave to test the summary output of the Indonesian Road Pavement Design Manual 2017 (MDPJ 2017) in the analysis of flexible pavement design. The case study is based on an information planning database from the Teluk Lembu Ujung road (STA. 1+900 – 2+900) Tenayan Raya District, Pekanbaru. The results of the analysis using the MDPJ 2017 obtained a traffic load of 21,777,935 CESAL⁵. The MDPJ 2017 pavement design chosen to use is 4 cm AC-WC, 6 cm AC-BC, 15.5 cm AC-Base, and 30 cm Crushed Stone Base (Grade A). Based on the analysis of mechanistic-empirical testing with the Kenpave, the MDPJ 2017 road pavement design method obtained results that met the safety criteria of fatigue cracking and permanent deformation testing. In fact, the mechanistic-empirical testing with the Kenpave also obtained safety criteria values even though the thickness of the AC-Base was reduced to 15 cm.

Keywords: Kenpave; MDPJ 2017; Mechanistic-Empirical; Flexible Pavement.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menguji hasil luaran analisis desain perkerasan lentur menggunakan Manual Desain Perkerasan Jalan (MDPJ) 2017 terhadap desain perkerasan lentur jalan menggunakan metode mekanistik empiris dengan program Kenpave. Studi kasus menggunakan data perencanaan pada Jalan Teluk Lembu Ujung STA. 1+900 – 2+900 Kecamatan Tenayan Raya Kota Pekanbaru. Metode analisis desain perkerasan menggunakan MDPJ 2017 kemudian hasilnya diuji berdasarkan analisis mekanistik empiris menggunakan program Kenpave. Hasil analisis menggunakan MDPJ 2017 diperoleh beban lalu lintas sebesar 21.777.935 CESAL⁵ sehingga desain perkerasan yang dipilih untuk digunakan adalah 4 cm AC-WC, 6 cm AC-BC, 15,5 cm AC-Base, dan 30 cm fondasi atas kelas A. Berdasarkan hasil pengujian mekanistik empiris dengan program Kenpave, desain perkerasan metode MDPJ 2017 tersebut dinyatakan aman dari pengujian kerusakan akibat *fatigue cracking* dan *permanent deformation*. Bahkan, pengujian secara mekanistik empiris program Kenpave juga memperoleh nilai yang aman meskipun ketebalan AC-Base dikurangi menjadi 15 cm.

Kata kunci: Kenpave; MDPJ 2017; Mekanistik Empiris; Perkerasan Lentur.

1. PENDAHULUAN

Jalan adalah suatu prasarana transportasi darat yang memiliki peranan penting pada sektor perhubungan, yang memiliki fungsi utama untuk mendistribusikan orang, barang dan atau jasa secara berkelanjutan. Adanya infrastruktur jalan yang bermutu dinilai sangat mendukung perkembangan perekonomian suatu daerah yang pada akhirnya dapat meningkatkan kesejahteraan masyarakat. Oleh karena manfaatnya yang sangat penting maka proses pembangunan dan pemeliharaan infrastruktur jalan perlu diprioritaskan (Ramadhani, 2018).

Tahap awal yang diperlukan dalam pembangunan jalan adalah perencanaan perkerasan yang cocok untuk kondisi dan volume lalu lintas jalan yang ingin dibangun. Perhitungan volume lalu lintas berdasarkan suatu periode tertentu atau dikenal sebagai lalu lintas rancangan (*design traffic*) harus memperhatikan besarnya beban gandar, konfigurasi sumbu, dan repetisi beban kendaraan (Satria, 2022). Selanjutnya, perencanaan perkerasan jalan juga memerlukan penentuan umur rencana, yang merupakan lamanya kemampuan jalan dalam memikul beban lalu lintas sampai jalan tersebut dilakukan pembangunan kembali atau rekonstruksi.

Dalam perencanaan perkerasan jalan perlu untuk mengikuti pedoman dan keadaan ataupun kondisi pada lokasi pembangunan. Pedoman yang dimaksud merupakan suatu metode desain struktur perkerasan yang didalamnya

terdapat faktor-faktor yang dapat digunakan dalam mempertimbangkan rancangan seperti umur rencana, beban lalu lintas, kondisi lingkungan, drainase jalan, daya dukung tanah serta alternatif pilihan dalam penentuan tebal struktur perkerasan yang digunakan. Di Indonesia pedoman yang digunakan untuk mendesain perkerasan jalan merupakan adaptasi serta modifikasi berdasarkan pedoman yang digunakan oleh negara Australia sehingga dibuatlah Manual Desain Perkerasan Jalan (MDPJ) 2017 yang dikeluarkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (2017) (Kurniawan, 2019).

MDPJ 2017 merupakan manual desain yang terkini digunakan di Indonesia. MDPJ 2017 merupakan desain perkerasan dengan metode mekanistik empiris, artinya untuk menghasilkan output desain perkerasan dibutuhkan proses dalam memperoleh hubungan antara sifat mekanika bahan/material perkerasan dengan beban lalu lintas yang diterima struktur perkerasan tersebut. Namun di dalam dokumen MDPJ 2017 tidak secara eksplisit dijabarkan proses memperoleh desain perkerasan secara mekanistik empiris karena proses tersebut dikerjakan dengan menggunakan program *Circlly*. Sehingga output desain perkerasan jalan di dalam dokumen MDPJ 2017 hanya berdasarkan beban lalu lintas rencana, setelah itu dipilih material dan tebal perkerasan melalui bagan desain yang disediakan. Atas dasar tersebut, penelitian ini ingin menguji apakah pemilihan desain perkerasan jalan dari MDPJ 2017 tersebut telah aman berdasarkan metode mekanistik empiris terhadap salah satu studi kasus yang digunakan.

Pengujian metode mekanistik empiris yang dilakukan menggunakan program Kenpave. Program ini merupakan software desain perkerasan secara mekanistik empiris yang umum dan banyak digunakan di dunia dan bersifat “*free to use*” atau gratis.

Studi kasus yang diuji adalah dengan menggunakan data perencanaan Jalan Teluk Lembu Ujung pada Stasioning 1+900–2+900 Kota Pekanbaru. Jalan ini dipilih karena merupakan jalan yang termasuk ke dalam Prioritas Nasional yang mana akan terhubung dengan Tol Sumatera, Jembatan Siak 5, dan Kawasan Industri Tenayan. Selain itu, jalan ini juga dapat menghubungkan Kawasan Industri Tenayan menuju Kantor Walikota Pekanbaru. Permasalahannya jalan ini dibangun dengan konstruksi perkerasan kaku. Sedangkan, berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, jalan ini berada di atas tanah gambut (PT. Cakrawala Monica Abadi, 2022). Hal ini bertentangan dengan pernyataan di dalam dokumen MDPJ 2017, yang secara terang menjelaskan bahwa, “pembangunan jalan di atas tanah gambut harus menggunakan perkerasan lentur agar tidak terjadi penurunan yang besar”. Oleh karena itu, penelitian ini juga bermaksud mengkritisi secara akademis pemilihan jenis konstruksi yang digunakan, sekaligus memberikan saran terhadap desain perkerasan lentur yang sesuai dengan aturan yang terbaru dan berlaku saat ini di lokasi studi.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan data perencanaan LHR (lalu lintas harian rerata) yang diperoleh dari Dinas PUPR Kota Pekanbaru (2020). Sedangkan data parameter perkerasan lentur untuk analisis di diperoleh dari MDPJ 2017 dan suplemen MDPJ 2017 (2020). Sedangkan untuk CBR timbunan dan *poisson ratio* menggunakan data *artificial* atau ditentukan sendiri sesuai persyaratan MDPJ 2017.

Tahapan dalam analisis penelitian ini dibagi menjadi dua bagian. Bagian pertama dengan melakukan perencanaan desain perkerasan lentur menggunakan MDPJ 2017 dan yang kedua melakukan analisis secara mekanistik empiris dengan program Kenpave terhadap hasil output desain perkerasan lentur menggunakan MDPJ 2017. Adapun tahapan untuk perencanaan desain perkerasan lentur berdasarkan MDPJ 2017 adalah sebagai berikut:

- Penentuan umur rencana,
- Menghitung lalu lintas harian rerata,
- Menentukan faktor pengali pertumbuhan lalu lintas,
- Menentukan faktor distribusi lajur dan arah,
- Menentukan faktor ekuivalen beban,
- Menghitung total beban sumbu standar (CESAL),
- Pemilihan struktur perkerasan,
- Penentuan tebal perkerasan lentur.

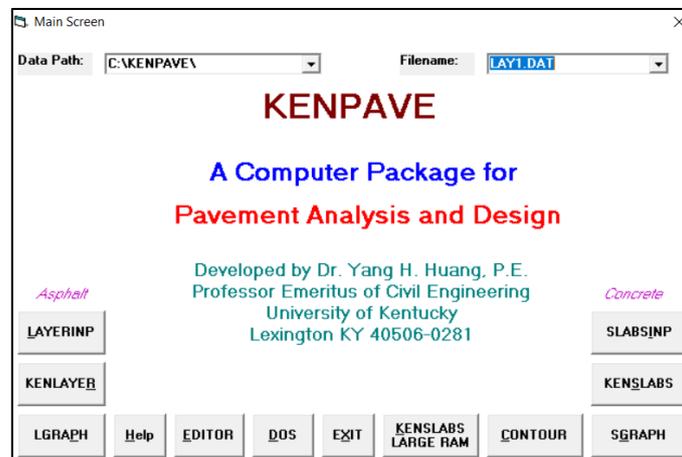
Sementara itu, adapun tahapan dalam menganalisis output desain berdasarkan MDPJ 2017 secara mekanistik empiris dengan Kenpave adalah:

1. Menyiapkan data-data inputan desain

Data-data inputan dalam pengujian desain secara mekanistik empiris diantaranya berupa tebal perkerasan yang diuji (diperoleh dari hasil desain), data modulus elastisitas, *poisson ratio*, titik koordinat yang ingin ditinjau, data kondisi beban roda kendaraan, dan volume bitumen.

2. Analisis dengan program Kenpave

Berikut merupakan tahapan analisis dalam pemodelan struktur perkerasan lentur dengan menggunakan program Kenpave.



Gambar 1. Tampilan depan program Kenpave

- Memilih menu *Layerinp* untuk memasukkan data *input* program.
- Pilih menu *File* untuk memulai pekerjaan baru.
- Selanjutnya dipilih menu *General* untuk menentukan informasi umum mengenai struktur perkerasan yang ingin dianalisis (sesuaikan dengan keterangan yang ada yang diberikan Kenpave).
- Pilih menu *Zcoord* dan memasukkan titik koordinat nilai regangannya yang ditinjau.
- Kemudian memasukkan tebal setiap lapis perkerasan dan angka *poisson ratio* pada menu *Layer*.
- Menu *Moduli* digunakan untuk memasukkan modulus elastisitas.
- Dipilih menu *Load* untuk memasukkan tekanan ban.
- Memasukkan koordinat NR or NSPT. NSPT merupakan jumlah titik koordinat x dan y yang dianalisis berdasarkan pada beberapa roda.
- Masuk menu *Viscoelastic*, input data data yang diperlukan.
- Kemudian *Save as* data yang sudah di *input* pada menu *Layerinp* dan pilih menu *Kenlayer* untuk menjalankan perhitungan program.

3. Perhitungan nilai kerusakan

Perhitungan beban yang dihasilkan dari roda kendaraan menggunakan Persamaan 1 dan Persamaan 2 seperti yang terdapat di bawah ini.

$$Nf = RF \left[\frac{6918 \times (0,856 V_b + 1,08)}{S_{mix}^{0,36} \mu\epsilon} \right]^5 \quad (1)$$

dengan Nf merupakan nilai repetisi beban yang diizinkan untuk mengontrol kerusakan *fatigue cracking*, $\mu\epsilon$ merupakan regangan tarik horizontal di bawah beton aspal (*microstrain*), V_b merupakan volume aspal dalam campuran (%), S_{mix} merupakan modulus campuran aspal (MPa), dan RF merupakan faktor reliabilitas.

$$Nd = \left[\frac{9300}{\mu\epsilon} \right]^7 \quad (2)$$

dengan Nd merupakan nilai repetisi beban yang diizinkan untuk kerusakan *permanent deformation*, dan $\mu\epsilon$ merupakan regangan tekan vertikal di atas tanah dasar (*microstrain*).

4. Melakukan pengecekan kemampuan desain perkerasan

Desain perkerasan berdasarkan MDPJ 2017 sebelumnya kemudian diuji (berdasarkan nilai Nf dan nilai Nd) terhadap beban lalulintas rencana. Jika nilai Nf dan nilai Nd lebih besar dari beban lalulintas rencana (CESAL5), maka desain perkerasan dinyatakan aman dan memenuhi kriteria pengujian secara mekanistik empiris.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perencanaan Perkerasan Lentur Berdasarkan MDPJ 2017

Umur Rencana

Penentuan umur rencana perkerasan jalan untuk jalan baru seperti yang terdapat di dalam MDPJ 2017 dapat dilihat pada **Error! Reference source not found.**

Tabel 1. Umur Rencana Perkerasan Jalan Baru (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2017)

Jenis Perkerasan	Elemen perkerasan	Umur Rencana (Tahun)
	Lapisan aspal dan lapisan berbutir	20
	Fondasi jalan	
Perkerasan lentur	Semua perkerasan untuk daerah yang tidak dimungkinkan pelapisan ulang (<i>overlay</i>), seperti: jalan perkotaan, <i>underpass</i> , jembatan, 4 terowongan	40
	<i>Cement Treated Based (CTB)</i>	
Perkerasan kaku	Lapis fondasi atas, lapis fondasi bawah, lapis beton semen, dan fondasi jalan	
Jalan tanpa penutup	Semua elemen (termasuk fondasi jalan)	Minimum 10

Perkerasan yang direncanakan merupakan perkerasan lentur dengan fondasi berbutir. Berdasarkan **Error! Reference source not found.** untuk jenis perkerasan lentur dengan lapis aspal dan lapis fondasi berbutir disyaratkan memiliki umur rencana 20 tahun. Maka dalam analisis ini digunakan umur rencana Jalan Teluk Lembu Ujung adalah 20 tahun dengan masa pelayanan dari tahun 2024-2044.

Volume Lalu-Lintas

Data lalu lintas harian rerata di ruas Jalan Teluk Lembu Ujung diperoleh dari Dinas PUPR Kota Pekanbaru pada tahun 2020 seperti yang tertera pada Tabel 2.

Tabel 2. Data LHR jalan Teluk lembu ujung (Dinas PUPR Kota Pekanbaru, 2020)

No	Golongan	Jenis Kendaraan	LHR (2 arah) 2020 (kend/hari)
1	2,3,4	Sedang/ Angkot/ <i>Pickup/ Station Wagon</i>	658
2	6A	Truk Ringan 2 Sumbu	219
3	6B	Truk Sedang 2 Sumbu	182
4	7A1	Truk 3 Sumbu ringan	65

Perhitungan ini berdasarkan dengan menganggap masa konstruksi selama satu tahun yaitu tahun 2023, dan jalan dibuka pada tahun 2024. Maka perlu dihitung LHR untuk tahun 2024, dengan data laju pertumbuhan lalu lintas yang didapatkan dari Dinas PUPR Kota Pekanbaru (2020) adalah sebesar 8%. Contoh perhitungan LHR tahun 2024 untuk kendaraan golongan 2,3,4 dari Tabel 2 sebagai berikut.

$$LHRT = LHR_0 (1+i)^n = 658 (1+0,08)^4 = 895 \text{ kend/hari}$$

Dari perhitungan di atas diperoleh nilai LHRT 2024 untuk kendaraan golongan 2,3,4 adalah sebesar 895 kendaraan/hari. Lalu lintas harian rerata pada tahun 2020 dan 2024 secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Lalu lintas harian rata-rata pada tahun 2020 dan 2024

No.	Gol	Jenis Kendaraan	LHR (2 arah) 2020 (kend/hari)	LHR 2024 (kend/hari)
1	2,3,4	Sedang/ Angkot/ <i>Pickup/ Station Wagon</i>	658	895
2	6A	Truk Ringan 2 Sumbu	219	298
3	6B	Truk Sedang 2 Sumbu	182	248
4	7A1	Truk 3 Sumbu ringan	65	88

Dari Tabel 3 dapat diketahui LHR tahun 2020 dan LHR pada tahun 2024 yang merupakan tahun dimana jalan mulai dioperasikan.

Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas

Faktor pertumbuhan lalu lintas (R) membutuhkan nilai faktor laju pertumbuhan lalulintas (i). Data laju pertumbuhan lalulintas yang didapatkan dari Dinas PUPR Kota Pekanbaru (2020) adalah sebesar 8%. Berikut perhitungan Faktor pertumbuhan lalu lintas (R) dengan umur rencana (UR) 20 tahun.

$$\begin{aligned}
 R &= \frac{(1+0,01i)^{UR}-1}{0,01i} \\
 &= \frac{(1+0,01 \times 8\%)^{20}-1}{0,01 \times 8\%} \\
 &= 45,76
 \end{aligned}$$

Data Faktor pertumbuhan lalulintas (R) digunakan dalam menghitung nilai CESAL.

Faktor Distribusi Lajur dan Arah

Faktor distribusi lajur (DL) mengacu pada Tabel 4.

Tabel 4. Faktor distribusi lajur (DL) (Dinas PUPR Kota Pekanbaru, 2020)

Jumlah lajur setiap arah	Kendaraan niaga pada lajur desain (% terhadap populasi kendaraan niaga)
1	100
2	80
3	60
4	50

MDPJ 2017 menyatakan bahwa pada jalan dua arah, menggunakan faktor distribusi arah (DD) sebesar 0,50. Sedangkan faktor distribusi lajur (DL) dengan tipe 2/2 UD (2 lajur 2 arah tak terbagi) menggunakan 1 atau 100%.

Faktor Ekuivalen Beban

Penggunaan Faktor ekuivalen beban atau VDF untuk wilayah Provinsi Riau baik untuk Nilai VDF4 maupun VDF5 dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai VDF masing-masing kendaraan untuk Provinsi Riau (Kemen PUPR (suplemen MDPJ 2017), 2020)

Kelas Kendaraan	Beban Aktual		Beban Normal	
	VDF4	VDF5	VDF4	VDF5
Gol 5B	1,2	1,3	1,2	1,3
Gol 6A	0,5	0,4	0,5	0,4
Gol 6B	3,0	4,3	1,7	2,2
Gol 7A1	9,8	16,0	2,6	2,9
Gol 7A2	13,6	26,1	4,9	6,3
Gol 7B1	-	-	-	-
Gol 7B2	-	-	-	-
Gol 7C1	9,3	16,0	4,2	5,1
Gol 7C2A	15,9	27,9	6,8	8,8
Gol 7C2B	21,2	44,4	4,0	4,7
Gol 7C3	15,3	27,6	6,0	7,6

Berdasarkan Tabel 5 di atas dapat ditentukan nilai VDF berdasarkan beban aktual dan beban normal untuk Provinsi Riau. Perencanaan ini menggunakan beban aktual dikarenakan untuk mengantisipasi pengurangan umur rencana akibat beban berlebih. Sehingga dari Tabel 5 tersebut dapat diperoleh Nilai VDF4 dan VDF5 berdasarkan beban aktual yang dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Nilai VDF4 dan VDF5 beban aktual

No	Golongan	Jenis Kendaraan	VDF ₄	VDF ₅
1	2,3,4	Sedan/ Angkot/ Pick up/ Station Wagon	0	0
2	6A	Truk Ringan 2 Sumbu	0,5	0,4
3	6B	Truk Sedang 2 Sumbu	3,0	4,3
4	7A1	Truk 3 Sumbu ringan	9,8	16,1

Menghitung Nilai CESAL

Berikut contoh perhitungan *Cumulative equivalent single axle load* (CESAL) untuk kendaraan golongan 6A (Truk ringan 2 sumbu).

$$\begin{aligned} \text{ESA}_4 &= (\sum \text{LHR} \times \text{VDF}_4) \times 365 \times \text{DD} \times \text{DL} \times \text{R} \\ &= (298 \times 0,5) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times 45,76 \\ &= 1.244.161 \\ \text{ESA}_5 &= (\sum \text{LHR} \times \text{VDF}_5) \times 365 \times \text{DD} \times \text{DL} \times \text{R} \\ &= (298 \times 0,4) \times 365 \times 0,5 \times 1 \times 45,76 \\ &= 995.329 \end{aligned}$$

Perhitungan keseluruhan nilai CESAL4 dan CESAL5 untuk semua jenis kendaraan yang diketahui dengan umur rencana jalan adalah 20 tahun (2024-2044) yang terlihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Perhitungan nilai CESAL

No	Gol.	LHR 2024 (kend/ hari)	R	DD	DL	VDF ₄	VDF ₅	ESA ₄	ESA ₅
1	2,3,4	895	45,76	0,5	0	0	0	0	0
2	6A	298	45,76	0,5	1	1	0,4	1.244.161	995.329
3	6B	248	45,76	0,5	1	3	4,3	6.203.763	8.892.060
4	7A1	88	45,76	0,5	1	10	16,1	7.237.723	11.890.546
<i>Cumulative equivalent single axle load</i> (CESAL)								14.685.648	21.777.935

Dari hasil perhitungan pada Tabel 7 diperoleh nilai CESAL4 sebesar 14.685.648 dan untuk CESAL5 yang diperoleh sebesar 21.777.935.

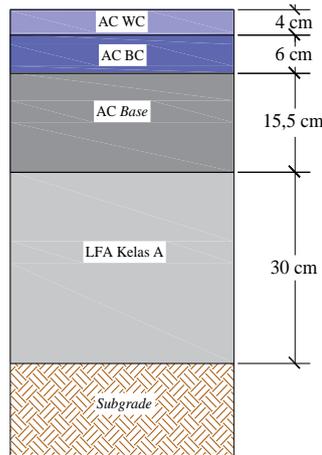
Pemilihan Tebal Perkerasan Lentur

Tebal perkerasan lentur ditentukan dari hasil perhitungan beban lalu lintas nilai CESAL5 selama umur rencana. Acuan dalam pemilihan tebal perkerasan lentur disajikan pada **Error! Reference source not found.**, dimana ketentuan ini diperoleh dari Suplemen MDPJ 2017 Bagan Desain 3B (1) dengan nilai CBR rencana sebesar 6%.

Tabel 8. Pemilihan tebal perkerasan (Kementerian PUPR (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2017), 2020

	FFF1	FFF2	FFF3	FFF4	FFF5	FFF6	FFF7	FFF8	FFF9
Struktur perkerasan untuk beban rencana 20 tahun (10 ⁶ ESA5)	Untuk beban rencana ≤ 1 juta ESA5 gunakan struktur FFF (2) 1 dari Bagan Desain 3B (2) 2020					Opsi perkerasan dengan CTB tidak praktis jika sumber daya yang diperlukan tidak tersedia			
	>1-2	> 2 - 5	> 5- 7	> 7 - 10	> 10 - 20	> 20 - 30	> 30 - 50	> 50 - 100	> 100 - 200
KETEBALAN LAPIS PERKERASAN (mm)									
AC WC	40	40	40	40	40	40	40	40	40
AC BC	80	125	60	60	60	60	60	60	60
AC Base	-	-	80	95	145	155	175	200	235
LFA Kelas A	300	300	300	300	300	300	300	300	300

Berdasarkan **Error! Reference source not found.**, nilai CESAL5 dari hasil perhitungan diperoleh sebesar 21.777.935 C ESAL5 yang berada pada rentang 20-30 juta CESAL5, maka ketebalan lapis perkerasan lentur yang direncanakan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil desain perkerasan lentur berdasarkan MDPJ 2017

Analisis Desain Perkerasan Lentur Secara Mekanistik Empiris Menggunakan Program Kenpave

Parameter Bahan Perkerasan

Data parameter bahan perkerasan lentur yang digunakan dalam analisis mekanistik empiris sebagai data inputan yang juga merupakan hasil dari desain perkerasan lentur menggunakan MDPJ 2017 sebelumnya ditunjukkan pada Tabel 9.

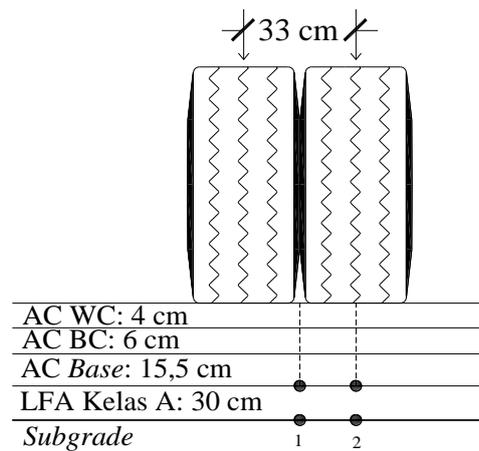
Tabel 9. Parameter bahan perkerasan (Kementerian PUPR, 2020)

Lapis perkerasan	Tebal perkerasan lentur (cm)	Modulus elastisitas, E (kPa)	Poisson ratio (μ)	Volume bitumen (%)
AC WC	4,00	1000000	0,40	13,1
AC BC	6,00	1200000	0,40	11,5
AC Base	15,50	1600000	0,40	11,5
LFA Kel. A	30,00	150000	0,35	-
Subgrade	∞	60000	0,35	-

Dalam analisis ini, untuk lapis permukaan yang menggunakan bahan material *asphalt concrete* merupakan material yang bersifat viskoelastik, maka diperlukan volume bitumen yang diperoleh dari MDPJ 2017. Sedangkan lapisan fondasi atas kelas A dan *subgrade* menggunakan asumsi material yang bersifat linear elastik sehingga parameter yang dibutuhkan untuk LFA kelas A dan tanah dasar hanya modulus elastisitas dan *poisson ratio*. Untuk memperoleh nilai modulus elastisitas tanah dasar perlu dilakukan korelasi nilai CBR ke Modulus elastisitas. Berdasarkan MDPJ 2017, nilai modulus elastisitas tanah dasar dapat menggunakan persamaan $10 \times \text{CBR}$ (MPa). Dengan menggunakan nilai CBR minimal yang disyaratkan oleh spesifikasi umum 2018 revisi 2 atau Direktorat Jenderal Bina Marga (2020) yaitu 6%, maka nilai modulus tanah dasar menjadi:

$$\begin{aligned}
 E \text{ tanah dasar} &= 10 \times \text{CBR (Mpa)} \\
 &= 10 \times 6 \\
 &= 60 \text{ Mpa} \\
 &= 60000 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

Beban roda yang di input pada program Kenpave dengan nilai *Load* adalah 1 untuk sumbu tunggal roda ganda (*single axle road*), nilai CR menggunakan 11 cm (jarak antar ban), nilai CP menggunakan 0,55 MPa atau 550 Kpa (tekanan ban), nilai YW menggunakan 33 dan XW menggunakan 0 (*single axle dual tires*) yang mengacu pada Sukirman (2010). Untuk koordinat tinjauan ban mengacu pada MDPJ 2017, seperti yang terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Koordinat tinjauan pada beban roda (Direktorat Jendral Bina Marga, 2017)

Waktu pengamatan *creep* untuk bahan *Viscoelastic* terdiri dari 11 variasi, masing-masing adalah: 0,001; 0,003; 0,01; 0,03; 0,1; 0,3; 1; 3; 10; 30; dan 100 berdasarkan saran FHWA (2002) dalam Huang (2004). Sementara itu temperatur di input 35,9°C yang merupakan suhu tertinggi pada tahun 2022 menurut BMKG (2023) untuk Kota Pekanbaru.

Hasil running program Kenpave

Respon perkerasan yang diambil pada proses analisis ini adalah *vertical compressive strain* pada permukaan subgrade serta *tangential tensile strain* pada dasar lapis aspal. Hasil analisis menggunakan program Kenpave terdapat pada Tabel 10, sementara itu untuk rekapitulasi regangan maksimum terdapat pada Tabel 11.

Tabel 10. Hasil analisis pemodelan viskoelastik (eksisting)

Point	Koordinat vertikal	Regangan tarik	Regangan tekan
1	0,00	1,64E-04	4,31E-05
	25,49	1,99E-04	2,45E-04
	25,50	1,99E-04	2,46E-04
	55,50	1,46E-04	2,28E-04
	55,51	1,46E-04	3,57E-04
2	0,00	1,33E-04	1,01E-04
	25,49	2,10E-04	2,32E-04
	25,50	1,98E+02	2,32E-04
	55,50	2,10E-04	2,46E-04
	55,51	1,98E+01	3,84E-04

Tabel 11. Rekapitulasi regangan maksimum

Koordinat	Regangan tarik di 25,49 cm	Regangan tekan vertikal di 55,51 cm	Satuan
1	1,99E-04	3,57E-04	<i>Strain</i>
2	2,10E-04	3,84E-04	
Max	2,10E-04	3,84E-04	<i>Microstrain</i>
	209,80	384,00	

Total nilai repetisi beban yang diijinkan berfungsi sebagai control pada *fatigue cracking* berdasarkan nilai regangan tarik di 25,49 cm dari permukaan perkerasan lentur atau di bawah lapisan *Asphalt Concrete* (AC) yaitu:

$$\begin{aligned}
 N_f &= RF \left[\frac{6918 \times (0,856 V_b + 1,08)}{S_{mix}^{0,36} \mu\epsilon} \right]^5 \\
 &= 2,5 \left[\frac{6918 \times (0,856 \times 11,5 + 1,08)}{1600^{0,36} \times 209,80} \right]^5 \\
 &= 25.900.483 \text{ CESAL5}
 \end{aligned}$$

Total nilai repetisi beban ijin yang berfungsi sebagai control pada kerusakan akibat *permanent deformation* dengan menggunakan nilai regangan tekan vertikal maksimum di 55,51 cm dari permukaan perkerasan lentur atau di bagian atas *subgrade* yaitu:

$$\begin{aligned} N_d &= \left[\frac{9300}{\mu\varepsilon} \right]^7 \\ &= \left[\frac{9300}{384,00} \right]^7 \\ &= 4.887.222.025 \text{ CESAL5} \end{aligned}$$

Dari perhitungan N_f dan N_d diperoleh jumlah repetisi beban yang mampu dipikul perkerasan sampai terjadinya kerusakan *fatigue cracking* sebesar 25.900.483 CESAL5 dan *permanent deformation* sebesar 4.887.222.025 CESAL5. Nilai N_f dan N_d tersebut lebih besar dari nilai CESAL5 rencana yaitu 21.777.935 CESAL5, sehingga dapat dikatakan bahwa desain perkerasan menggunakan MDPJ 2017 dinyatakan aman terhadap pengujian kerusakan *fatigue cracking* dan *permanent deformation* secara mekanistik empiris.

PEMBAHASAN

Dari hasil analisis dengan program Kenpave yang tahapannya sudah dijelaskan sebelumnya menyatakan bahwa perencanaan desain perkerasan lentur menggunakan MDPJ 2017 dari contoh kasus yang diteliti telah memenuhi kriteria desain secara mekanistik empiris. Kemampuan desain MDPJ 2017 (Gambar 2) tersebut mampu untuk menahan kerusakan *permanent deformation* (N_d) dengan beban lalu lintas sebesar 4.887.222.025 CESAL5. Angka tersebut bahkan sangat jauh lebih besar dari pada beban yang direncanakan yaitu sebesar 21.777.935 CESAL5. Artinya desain yang digunakan tersebut sangat mampu untuk tidak akan mengalami kerusakan *permanent deformation* selama umur rencana. Dalam pengertian lain juga menyebutkan bahwa perbedaan selisih yang sangat jauh tersebut menandakan gagalnya desain perkerasan direncanakan secara ekonomis. Meskipun demikian pernyataan tersebut juga tidak sepenuhnya benar untuk dilontarkan karena di dalam perencanaan desain mekanistik empiris MDPJ 2017 tidak hanya ditinjau berdasarkan kerusakan *permanent deformation* saja, namun secara bersama-sama juga memperhatikan kerusakan *fatigue cracking*. Selain itu, selisih angka yang terlalu jauh tersebut juga diakibatkan karena ketertidadaan data nilai VDF pangkat 7 aktual pada MDPJ 2017 yang menghasilkan nilai CESAL7. Karena berdasarkan Austroads, untuk desain mekanistik empiris dengan tinjauan kerusakan *permanent deformation* harusnya menggunakan kriteria pembebanan berpangkat 7.

Pada kriteria kerusakan *fatigue cracking* dalam analisis yang telah dilakukan sebelumnya juga memperoleh hasil bahwa beban yang mampu ditahan oleh desain yang digunakan lebih besar dari beban rencana yaitu 25.900.483 CESAL5 > 21.777.935 CESAL5. Namun hasil tersebut sangat berpengaruh terhadap nilai RF yang digunakan, dimana nilai RF merupakan faktor reliabilitas *fatigue cracking* campuran beraspal. Nilai reliabilitas ini pada prinsipnya merupakan tingkat keyakinan perencana dalam penggunaan data-data parameter inputan yang menghasilkan nilai beban yang mampu ditahan tanpa menyebabkan kerusakan *fatigue cracking* selama umur layan. Dalam analisis ini peneliti menggunakan nilai reliabilitas paling rendah yang diizinkan oleh MDPJ 2017 yaitu sebesar 80% (RF=2,5). Artinya peneliti hanya yakin sebesar 80% bahwa tidak akan terjadi kerusakan *fatigue cracking* selama umur rencana. Jika peneliti ingin menaikkan nilai reliabilitas menjadi 85% (RF=2,0), maka akan berpengaruh terhadap turunnya kemampuan desain yang digunakan dalam menerima beban akibat kerusakan *fatigue cracking* (turunnya nilai NF). Penurunan nilai tersebut bahkan mengakibatkan kemampuan beban yang mampu ditahan oleh desain lebih kecil dari beban rencana. Artinya desain yang digunakan sudah tidak mampu lagi untuk menahan kerusakan *fatigue cracking* selama umur rencana. Berdasarkan hal tersebut dapat dikatakan bahwa penggunaan nilai reliabilitas (keyakinan) yang tinggi dapat mengakibatkan perlunya peningkatan kualitas material perkerasan atau setidaknya diperlukan penambahan tebal perkerasan (jika menggunakan material yang sama) dibandingkan dengan penggunaan nilai reliabilitas yang rendah pada kasus yang sama. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penggunaan nilai reliabilitas yang tinggi akan menyebabkan tingginya biaya pelaksanaan konstruksi perkerasan jalan.

Pemilihan nilai reliabilitas yang rendah tentu akan menghasilkan desain yang ekonomis, namun memiliki persentase probabilitas kegagalan yang tinggi pula. Oleh karenanya MDPJ 2017 memberi batasan terhadap nilai reliabilitas minimum yang diizinkan dengan maksud agar desain yang dihasilkan memiliki probabilitas kegagalan yang tidak terlalu tinggi dan juga cakupan keekonomisan suatu desain masih berada dalam batas keyakinan yang realistis.

Selain bergantung kepada penggunaan nilai reliabilitas, desain yang ekonomis secara mekanistik empiris adalah perencanaan desain yang secara analisis memiliki kemampuan yang sama dengan beban yang direncanakan. Dalam kasus ini, terlihat bahwa berdasarkan kemampuan desain rencana dalam menahan beban pada kriteria kerusakan *fatigue cracking* lebih besar dari pada beban rencana dengan nilai kurang lebih memiliki selisih 4 juta CESAL5, maka

desain rencana berpotensi untuk dianalisis kembali guna memperoleh hasil desain yang ekonomis. Proses redesain dilakukan dengan mengurangi ketebalan pada lapisan beraspal (AC), karena yang menjadi tinjauakan kerusakan *fatigue cracking* berada pada dasar lapis aspal. Pengurangan ketebalan pada lapis AC harus memperhatikan ketentuan DJBM (2020), dimana tebal minimal lapisan AC-WC sebesar 4 cm, AC-BC sebesar 6 cm, dan AC-base sebesar 7,5 cm. Sehingga berdasarkan desain MDPJ 2017 (Gambar 2) tersebut yang bisa dikurangi ketebalannya hanya pada lapisan AC Base. Hasil analisis redesain secara mekanistik empiris dapat dilihat pada pada **Error! Reference source not found.**

Tabel 12. Analisis redesain secara mekanistik empiris

No	Lapis perkerasan	Tebal perkerasan	Jumlah beban yang diizinkan (CESAL)		Keterangan
			<i>Fatigue cracking</i>	<i>Permanent deformation</i>	
1	AC-WC	4,00	25.900.483	4.887.222.025	Memenuhi syarat CESAL rencana
	AC-BC	6,00			
	AC-Base	15,50			
	LFA Kelas A	30,00			
	<i>Subgrade</i>	∞			
2	AC-WC	4,00	23.076.772	4.215.290.547	Memenuhi syarat CESAL rencana
	AC-BC	6,00			
	AC-Base	15,00			
	LFA Kelas A	30,00			
	<i>Subgrade</i>	∞			
3	AC-WC	4,00	20.520.921	3.627.815.925	Tidak memenuhi syarat CESAL rencana
	AC-BC	6,00			
	AC-Base	14,50			
	LFA Kelas A	30,00			
	<i>Subgrade</i>	∞			

Proses redesain dilakukan dengan mengurangi ketebalan lapis AC Base secara bertahap sebesar 0,5 cm. Dari **Error! Reference source not found.** dapat dilihat bahwa dengan melakukan pengurangan lapisan AC Base menjadi 15 cm, beban yang mampu ditahan desain masih lebih besar dari beban rencana baik berdasarkan kriteria kerusakan *fatigue cracking* maupun *permanent deformation*, artinya desain masih aman untuk digunakan. Namun jika ketebalan AC Base dikurangi menjadi 14,5 cm, beban yang mampu ditahan desain berdasarkan kriteria kerusakan *fatigue cracking* (20.520.921 CESAL5) tidak lebih besar dari beban rencana (21.777.935 CESAL5), artinya desain sudah tidak aman digunakan. Berdasarkan hal tersebut, maka dapat dikatakan bahwa secara mekanistik empiris penggunaan ketebalan AC Base menjadi 15 cm merupakan desain perkerasan yang paling ekonomis terhadap contoh kasus yang diteliti. Meskipun demikian pengurangan ketebalan AC Base dari hasil desain MDPJ 2017 tidak dianjurkan jikalau kriteria desain yang dihasilkan MDPJ 2017 sudah merupakan kriteria minimum desain yang harus dibangun di Indonesia, meskipun secara mekanistik empiris sudah memenuhi kriteria.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil analisis dan pembahasan pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa desain perkerasan lentur yang disarankan pada Jalan Teluk Lembu Ujung Sta. 1+900–2+900 Kota Pekanbaru berdasarkan MDPJ 2017 adalah dengan menggunakan tebal 4 cm lapisan AC-WC, 6 cm lapisan AC-BC, 15,5 cm lapisan AC-Base, dan menggunakan tebal 30 cm untuk LFA kelas A. Secara mekanistik empiris desain perkerasan lentur tersebut aman terhadap kerusakan *fatigue cracking* dan *permanent deformation* selama umur rencana dengan menggunakan nilai reliabilitas sebesar 80%. Bahkan, meskipun ketebalan AC-Base dikurangi menjadi 15 cm secara mekanistik empiris desain masih dikategorikan aman.

Desain perkerasan lentur yang disarankan ini belum bisa untuk diaplikasikan dan perlu dianalisis kembali, karena beberapa parameter inputan masih bersifat *artificial* / bukan merupakan data *real* lapangan. Ditambah desain ini belum menganalisis penggunaan tanah timbun yang diperlukan untuk menaikkan kekuatan *subgrade* sesuai standar yang berlaku.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG). (2023). *Data Temperatur*.
Dinas PUPR Kota Pekanbaru. (2020). *Data Perencanaan Jalan Teluk Lembu Ujung*.

- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2020). *Spesifikasi Umum 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 2)*. Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia
- Huang, Y. H. (2004). *Pavement Analysis and Design* (Second Edition). Pearson Prentice Hall.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2017). *Manual Desain Perkerasan Jalan (Revisi Juni 2017)*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2020). *Suplemen Manual Desain Perkerasan Jalan 2017*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Kurniawan, A. (2019). *Analisis Perbandingan Metode Manual Desain Perkerasan 2017 dan Asphalt Institute dalam Merancang Tebal dan Biaya Perkerasan Lentur*. <https://repository.unsri.ac.id/32405/>
- PT. Cakrawala Monica Abadi. (2022). *Data Penyelidikan Tanah Jalan Teluk Lembu Ujung*.
- Ramadhani, R. I. (2018). *Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur dengan Metode Bina Marga 2013 Dan Metode Mekanistik-Empirik Menggunakan Program Kenpave Pada Ruas Jalan Jogja-Solo* [Universitas Islam Indonesia].
- 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*. Universitas Islam Indonesia.
- Sukirman, S. (2010). *Perencanaan Tebal Struktur Perkerasan Lentur* (Vol. 1). Nova.

