

DESAIN ULANG DAN ANALISIS RESPONS STRUKTURAL PERKERASAN LENTUR PADA JALAN TOL JAKARTA-CIKAMPEK

Verell Rengga Harsvardan¹ dan Anissa Noor Tajudin²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
verell.325160117@stu.untar.ac.id

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
anissat@ft.untar.ac.id

Masuk: 11-01-2021, revisi: 24-02-2021, diterima untuk diterbitkan: 24-02-2021

ABSTRACT

This research will redesign the flexible pavement on the Kalihurip-Cikampek toll road using three flexible pavement design methods, namely the 2002, 2013 and 2017 methods, and analyze the structural responses that occur in the form of horizontal and vertical strain, the main components. In calculating the value of repetition of permits against fatigue damage (Nf) and groove cracks (Nd), it is processed using the KENPAVE program. Furthermore, the calculation results of the flexible pavement thickness, the value of repetition of permits against fatigue damage (Nf) and groove crack damage (Nd) were compared from the three methods. The method used is mechanistic-empirical. Primary data is obtained from the Ministry of Public Works and Public Housing and LHR0 starting in 2020, taking into account traffic growth from 2020 to 2035, as well as secondary data assumptions by referring to previous regulations and research. The results of this study indicate that the 2002 method produced the largest pavement thickness, while the 2013 and 2017 methods produced relatively the same pavement thickness. However, the 2002 method produced the largest repetition of permits against fatigue damage (Nf) and groove cracks (Nd). So it can be concluded that the 2017 method produces a better design.

Keywords: flexible pavement; structural response; KENPAVE

ABSTRAK

Penelitian ini akan mendesain ulang perkerasan lentur pada Jalan Tol Jakarta-Cikampek ruas Kalihurip-Cikampek menggunakan tiga metode desain perkerasan lentur yaitu metode 2002, 2013, dan 2017, serta menganalisis respons struktural yang terjadi berupa regangan horisontal dan vertikal, komponen utama dalam menghitung nilai repetisi izin terhadap kerusakan fatik (Nf) dan retak alur (Nd), diolah menggunakan program KENPAVE. Selanjutnya dibandingkan hasil perhitungan tebal perkerasan lentur, nilai repetisi izin terhadap kerusakan fatik (Nf) dan kerusakan retak alur (Nd) dari ketiga metode tersebut. Metode yang digunakan mekanistik-empiris. Data primer didapat dari Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) dan LHR0 dimulai pada tahun 2020, memperhitungkan pertumbuhan lalu lintas dari tahun 2020 sampai 2035, serta data sekunder asumsi dengan tetap mengacu pada peraturan dan penelitian sebelumnya. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode 2002 menghasilkan tebal perkerasan terbesar, sedangkan metode 2013 dan 2017 menghasilkan tebal perkerasan yang relatif sama. Namun metode 2002 menghasilkan repetisi izin terhadap kerusakan fatik (Nf) dan retak alur (Nd) terbesar. Sehingga disimpulkan metode 2017 menghasilkan desain lebih baik.

Kata kunci: perkerasan lentur; respons struktural; KENPAVE

1. PENDAHULUAN

Dalam sistem pelayanan masyarakat, jalan raya merupakan infrastruktur yang sangat penting untuk menghubungkan suatu tempat dengan tempat lainnya. Menurut PP.No.26/1985 jalan terdiri dari lima klasifikasi, yaitu Jalan Nasional, Jalan Provinsi, Jalan Kabupaten, Jalan Desa, dan Jalan Tol. Jalan raya terdiri dari beberapa lapisan, yaitu (1) Permukaan, (2) Pondasi Atas, (3) Pondasi Bawah, (4) Tanah Dasar. Perkerasan lentur (*flexible pavement*) adalah perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Sementara perkerasan kaku (*rigid pavement*) adalah perkerasan yang menggunakan semen (*Portland cement*) sebagai bahan pengikat (Sukirman, 1999).

Indonesia memiliki pedoman desain perkerasan lentur yang diterbitkan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, baik untuk konstruksi baru, bertahap, maupun lapisan tambah atau *overlay*. Pedoman tersebut adalah analisa Komponen 1987 yang mengacu pada AASHTO 1979, Pedoman Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur 2002 yang mengacu pada AASHTO 1993, Manual Desain Perkerasan Jalan yang mengacu pada AUSROADS 2008, dan Manual Desain Perkerasan Jalan 2017 yang merupakan revisi dari MDPJ 2013. Umur rencana menjadi faktor penting dalam mendesain perkerasan jalan untuk menentukan masa pelayanannya. Pada kenyataannya, sering kali suatu perkerasan jalan mengalami *failure* sebelum mencapai umur rencananya, kerusakan fatik/*fatigue failure* dan retak/*rutting* kerap terjadi pada jenis perkerasan lentur.

Jalan Tol Jakarta-Cikampek merupakan salah satu jalan bebas hambatan yang memiliki peranan penting dalam dunia transportasi di Indonesia khususnya di pulau Jawa. Dioperasikan oleh PT. Jasa Marga Tbk (JSMR) sejak tahun 1988, dengan total panjang 83 km menjadikan Jalan Tol Jakarta-Cikampek sebagai urat nadi transportasi sekaligus penghubung kota Jakarta dan Bekasi dengan kota-kota lain di Pantai Utara pulau Jawa. Tol Jakarta-Cikampek merupakan Tol terpadat di Indonesia dengan volume lalu lintas harian rata-rata 589.000 smp/hari juga didominasi oleh kendaraan berat (Jasa Marga, 2015).

Program KENPAVE merupakan *software* desain perencanaan perkerasan yang dikembangkan oleh Dr. Yang H Huang, P.E. *Professor Emeritus of Civil Engineering University of Kentucky*. *Software* ini ditulis dalam bahasa pemrograman *Visual Basic* dan dapat dijalankan dengan versi Windows 95 atau di atasnya. Program KENPAVE dapat menganalisis perkerasan lentur dan perkerasan kaku dengan fleksibel dan lebih mudah dengan memasukkan data-data yang diperlukan yaitu sifat karakteristik perkerasan dan material seperti modulus, *poisson ratio* setiap lapisan, beban roda, tekanan ban, dan koordinat dimana tegangan dan regangan yang diperlukan untuk kita dapatkan. *Software* ini terbagi dalam empat program yaitu LAYERINP, KENLAYER, SLABINP, dan KENSLAB, serta beberapa program untuk menunjukkan grafis. *Output* dari *software* ini yaitu tegangan, regangan dan defleksi (Fadhlan, 2013).

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini akan membandingkan hasil perhitungan tebal perkerasan dari tiga metode yaitu Pedoman Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur 2002, Manual Desain Perkerasan Jalan 2013, dan Manual Desain Perkerasan Jalan 2017. Selanjutnya akan membandingkan hasil perhitungan program KENPAVE yaitu repetisi izin terhadap kerusakan fatik (Nf) dan kerusakan *rutting* (Nd) dari tiga metode tersebut.

Batasan masalah pada penelitian ini:

1. Pada desain dengan metode Tahun 2002, semua jenis fondasi (berbutir, bersemen, dan beraspal) akan digunakan.
2. Pada desain dengan metode 2013 dan 2017, semua jenis fondasi (berbutir dan *cement treated base*) akan digunakan.
3. Data volume lalu-lintas didapat dari Kementerian PUPR pada tahun 2019.
4. LHR0 dimulai pada tahun 2020 dengan memperhitungkan pertumbuhan lalu lintas dari 2020 sampai 2035.
5. Kekuatan bahan material tiap lapisan digunakan asumsi dengan tetap mengacu pada peraturan.

Berdasarkan masalah yang dirumuskan pada rumusan masalah, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mendesain ulang perkerasan lentur pada jalan tol Jakarta-Cikampek berdasarkan metode 2002, 2013, dan 2017.
2. Menganalisis respons struktural perkerasan lentur hasil perancangan.
3. Menganalisis prediksi kerusakan perkerasan lentur hasil perancangan

Perkerasan lentur

Perkerasan lentur dibangun dari material bitumen dan granular (Huang, 2004). Sementara menurut Sukirman (2010), Konstruksi perkerasan lentur (*flexible pavement*), yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar.

Kendaraan rencana

Dalam menghitung beban lalu lintas rencana yang dipikul oleh perkerasan jalan selama umur rencana, diperlukan data lalu lintas. Beban lalu lintas merupakan volume lalu lintas pada tahun survei. Volume lalu lintas dalam beban sumbu standar berdasarkan jenis kendaraan dan beban gandar kendaraan komersial merupakan elemen utama beban lalu lintas dalam proses mendesain perkerasan jalan. Penggolongan kendaraan yang berlaku pada jalan tol tertera pada Tabel 1.

Tabel 1. Penggolongan kendaraan tol 2007

Golongan	Jenis Kendaraan
Golongan I	Sedan, Jip, <i>Pick Up</i> /Truk Kecil, dan Bus
Golongan II	Truk dengan 2 (dua) gandar
Golongan III	Truk dengan 3 (tiga) gandar
Golongan IV	Truk dengan 4 (empat) gandar
Golongan V	Truk dengan 5 (lima) gandar
Golongan VI	Kendaraan bermotor roda 2 (dua)

(Sumber: Kepmen PU No 370/KPTS/M/2007)

Metode bina marga 2002

Pedoman Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Bina Marga Pt T-01-2002-B merupakan pedoman yang diadopsi dari AASTHO 1993 dan dikeluarkan setelah Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya dengan metode analisis komponen 1987.

Metode bina marga 2013

Manual Desain Perkerasan Jalan nomor 02/M/BM/2013 merupakan pedoman yang diadopsi dari AUSTROADS 2008 dan dikeluarkan setelah Pedoman Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Bina Marga Pt T-01-2002-B.

Metode bina marga 2017

Manual Desain Perkerasan Jalan nomor 04/SE/Db/2017 merupakan pedoman yang merevisi pedoman Manual Desain Perkerasan Jalan nomor 02/M/BM/2013.

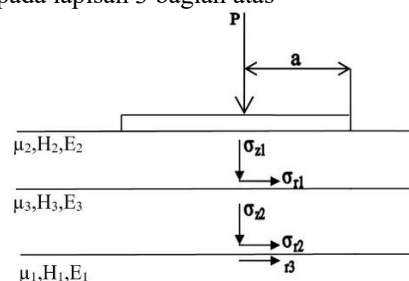
Metode mekanistik-empiris

Menurut Huang (2004), metode desain mekanistik empiris didasarkan pada mekanisme material yang berhubungan dengan inputnya, seperti beban lalu lintas, luas kontak area ban, jarak antar ban, *poisson ratio*, modulus elastis, dan ketebalan lapisan. Respons struktural pada metode ini menghasilkan tegangan dan regangan, yang dimana hasil dari respons struktural tersebut digunakan untuk menganalisis kerusakan pada perkerasan lentur, kerusakan yang dimaksud adalah kerusakan fatik dan retak alur.

Sistem tiga lapis pada perkerasan lentur

Menurut Yodzer dan Witczak (1975), tegangan – tegangan yang terjadi di setiap lapis pada axis simetri sistem tiga lapis dapat dilihat pada Gambar 1, tegangan – tegangan yang terjadi meliputi:

- σ_{z1} : tegangan vertikal *interface* 1
- σ_{z2} : tegangan vertikal *interface* 2
- σ_{r1} : tegangan horisontal pada lapisan 1 bagian bawah
- σ_{r2} : tegangan horisontal pada lapisan 2 bagian bawah
- σ_{r3} : tegangan horisontal pada lapisan 3 bagian atas



Gambar 1. Tegangan sistem tiga lapis (Sumber: Yodzer Dan Witczak, 1975)

Respons struktural

Dalam menganalisis respons struktural diperlukan beberapa komponen yang perlu dilengkapi seperti:

- Paramater lapisan

Paramater lapisan mencakup nilai modulus elastisitas dan angka *poisson ratio*.

- b. Lokasi kritis analisis perkerasan
Menurut putri (2014), nilai yang dihasilkan permodelan lapis perkerasan dengan sistem lapis banyak adalah nilai tegangan, regangan, dan lendutan. Berikut beberapa lokasi penting yang digunakan dalam analisis perkerasan tertera pada Tabel 2.

Tabel 2. Lokasi analisis struktur perkerasan

Lokasi	Respon	Analisa Struktur Perkerasan
Permukaan perkerasan	Defleksi	Digunakan dalam desain lapis tambah
Bawah lapis permukaan	Regangan tarik horisontal	Digunakan untuk memprediksi retak fatik pada lapisan permukaan
Bagian atas tanah dasar / bawah lapis pondasi bawah	Regangan tekan vertikal	Digunakan untuk memprediksi kegagalan <i>rutting</i> yang terjadi

(Sumber: Putri, 2014)

- c. Tipe kerusakan perkerasan lentur
1. Repetisi izin terhadap kerusakan fatik (*fatigue failure*) dapat dihitung menggunakan rumus yang mengacu pada *Asphalt Institute* 1982, tertera pada Persamaan 1.

$$N_f = 0,0796 \left(\frac{1}{\epsilon_t}\right)^{3.291} \left(\frac{1}{E_1}\right)^{0.854} \quad (1)$$

dengan N_f = jumlah repetisi beban untuk menghindari fatik, E_t = regangan tarik pada bagian bawah lapis permukaan, dan E = modulus elastis lapis permukaan.

2. Repetisi izin terhadap kerusakan retak alur (*rutting*) dapat dihitung menggunakan rumus yang mengacu pada *Asphalt Institute* 1982, tertera pada Persamaan 2.

$$N_d = 1,365 \times 10^{-9} \left(\frac{1}{\epsilon_c}\right)^{4.477} \quad (2)$$

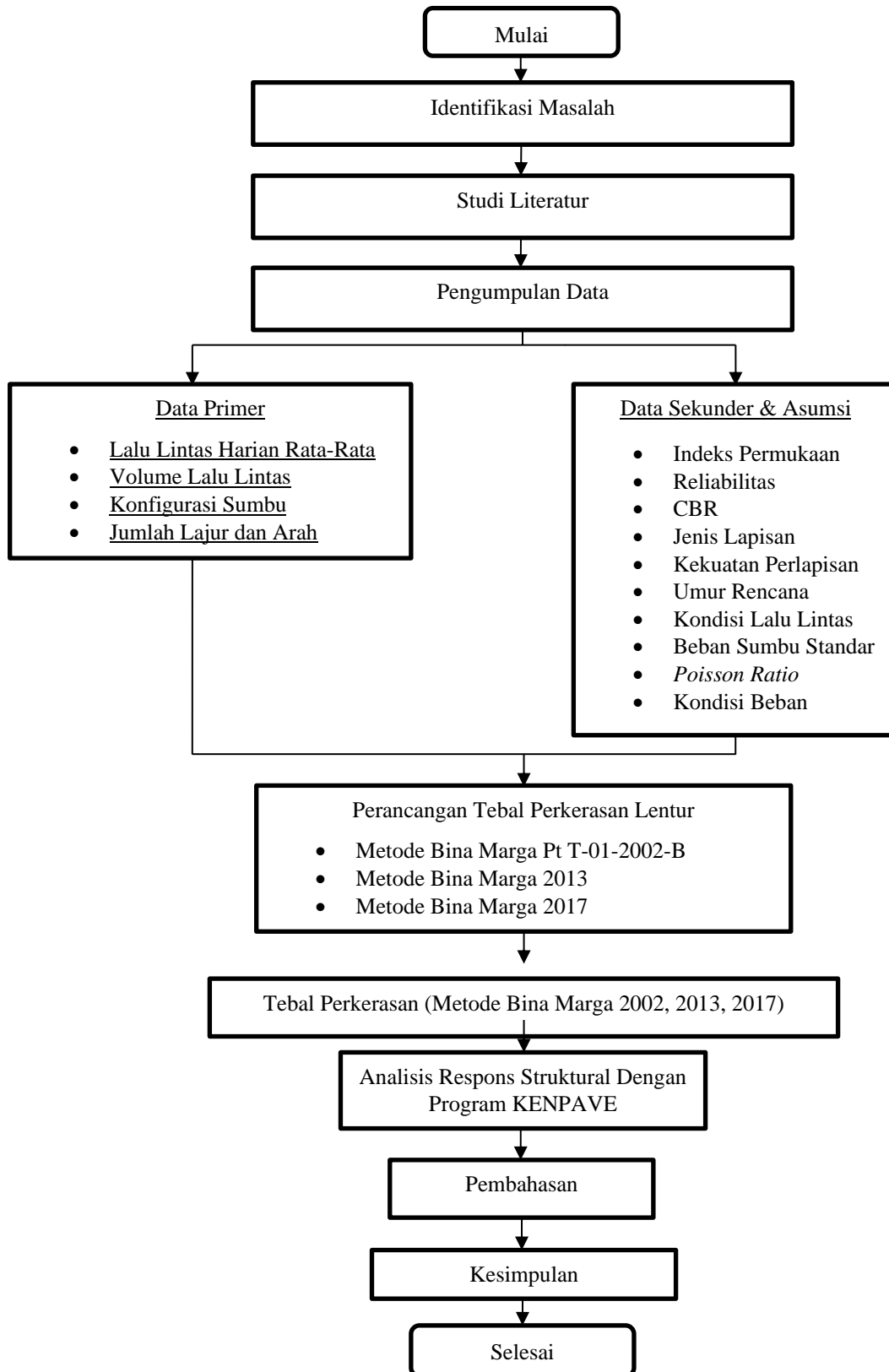
dengan N_d = jumlah repetisi beban untuk menghindari *rutting*, dan E_c = regangan tekan pada bagian bawah lapis pondasi bawah

Program KENPAVE

Menurut Fadhlán (2013), Program KENPAVE merupakan software desain perencanaan perkerasan yang dikembangkan oleh Dr. Yang H Huang, P.E. *Professor Emeritus of Civil Engineering University of Kentucky*. Data yang diperlukan sebagai *input* dalam program KENPAVE adalah modulus elastisitas, *poisson ratio*, tebal lapis perkerasan, dan kondisi beban.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dimulai dengan mendapatkan data primer berupa volume lalu lintas Jalan Tol Jakarta-Cikampek tahun 2019 dari Kementerian PUPR. Berikut diagram alir (*flowchart*) yang tertera pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tanah dasar

Menurut Ardiansyah dan Sudiby (2020), nilai CBR pada ruas jalan tol Jakarta-Cikampek sebesar 6,07%. Sehingga mengacu pada penelitian tersebut, pada penelitian ini menggunakan nilai CBR sebesar 6 %.

Pertumbuhan lalu-lintas

Menurut pedoman Manual Desain Perkerasan Jalan 2017, volume pertumbuhan lalu lintas pulau Jawa untuk jalan Arteri dan Perkotaan adalah sebesar 4,8%. Pertumbuhan lalu lintas ini digunakan pada tahun perencanaan 2015-2035.

Perbandingan nilai *vehicle damage factor* (VDF) antar metode

Nilai *Vehicle Damage Factor* (VDF) metode 2002 berbeda dengan metode 2013 dan 2017, tertera pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan nilai VDF antar metode

Jenis Kendaraan	2002	2013	2017
Golongan 1	0,037633528	1	1
Golongan 2	3,082093463	0,5	0,5
Golongan 3	6,177508895	5,6	5,6
Golongan 4	5,701002577	9,7	9,7
Golongan 5	6,932766881	8,5	8,5

Hal tersebut disebabkan pedoman manual desain perkerasan jalan metode 2002 belum menyediakan nilai VDF, maka perlu dihitung terlebih dahulu beban kendaraan per golongan dan perhitungan beban kendaraan per golongan menggunakan referensi dari penelitian Tajudin dan Priyatna (2019). Pada pedoman manual desain perkerasan jalan metode 2013 dan 2017 telah disediakan nilai *vehicle damage factor* (VDF), serta nilai VDF yang tertera pada MDPJ 2017 tidak mengalami perubahan dari MDPJ 2013.

Perbandingan hasil perhitungan *cumulative single axle* (CESA)

Total hasil perhitungan CESA metode 2002 berbeda dengan metode 2013 dan 2017, tertera pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan *Cumulative Single Axle* (CESA) antar metode

	2002	2013	2017
TOTAL CESA	203.025.661,06	128.250.263,72	128.250.263,72

Secara keseluruhan metode 2002 menghasilkan total hasil perhitungan CESA terbesar dibandingkan metode 2013 dan 2017.

Perbandingan modulus tipikal antar metode

Nilai modulus tipikal metode 2002 berbeda dengan metode 2013 dan 2017, tertera pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan modulus tipikal antar metode

Tipe Pondasi	2002 (MPa)			2013 (MPa)			2013 (MPa)				
	<i>Granular</i>	Beraspal	Bersemen	Tipe Pondasi	CTB	Tipe Pondasi	Berbutir	Tipe Pondasi	CTB	Tipe Pondasi	Berbutir
LP	2758	2758	2758	AC WC	1100	AC WC	1100	AC WC	1100	AC WC	1100
LPA	207	1600	4826	AC BC	1200	AC Binder	1200	AC BC	1200	AC BC	1200
LPB	131	131	131	CTB	500	AC Base	1600	AC Base	1600	AC Base	1600
				LPA Kelas A	150	LPA Kelas A	150	CTB	500	LPA Kelas A	150
								LPA Kelas A	150		

Pedoman metode bina marga 2002 belum menyajikan modulus tipikal untuk masing-masing lapisan perkerasan jalan. Sehingga nilai modulus tipikal untuk masing-masing lapisan diperoleh dengan menarik grafik yang telah disediakan pada pedoman metode bina marga 2002, serta modulus tipikal untuk lapis permukaan ditentukan oleh perencana, dilakukan secara cermat dan mempertimbangkan aspek volume lalu lintas, umur rencana, dan biaya. Sedangkan pada pedoman metode bina marga 2013 dan 2017 telah disajikan modulus tipikal untuk masing-masing

lapisan perkerasan jalan. Sehingga perencana dapat menyesuaikan nilai modulus tipikal tiap lapis perkerasan sesuai dengan jenis lapis perkerasannya.

Perbandingan tebal perkerasan antar metode

Rangkuman hasil perhitungan tebal perkerasan lentur metode 2002, tertera pada Tabel 6.

Tabel 6. Rangkuman tebal perkerasan metode bina marga 2002

	Tipe Pondasi		
	<i>Granular</i> (mm)	Beraspal (mm)	Bersemèn (mm)
Lapis Permukaan	305	155	105
Lapis Pondasi Atas	155	360	560
Lapis Pondasi Bawah	180	230	230

Rangkuman hasil perhitungan tebal perkerasan lentur metode 2013, tertera pada Tabel 7.

Tabel 7. Rangkuman tebal perkerasan metode bina marga 2013

Jenis Perkerasan	Lapis Fondasi CTB (mm)	Jenis Perkerasan	Lapis Fondasi Berbutir (mm)
AC WC	50	AC WC	40
AC BC	220	AC Binder	60
CTB	150	AC Base	245
LPA Kelas A	150	LPA Kelas A	300

Rangkuman hasil perhitungan tebal perkerasan lentur metode 2017, tertera pada Tabel 8.

Tabel 8. Rangkuman tebal perkerasan metode bina marga 2017

Jenis Perkerasan	Lapis Fondasi CTB (mm)	Jenis Perkerasan	Lapis Fondasi Berbutir (mm)
AC WC	50	AC WC	40
AC BC	60	AC BC	60
AC Base	160	AC Base	245
CTB	150	LPA Kelas A	300
LPA Kelas A	150		

Metode bina marga 2002 konstruksi perkerasan jalan dibagi menjadi 3 lapis perkerasan, metode bina marga 2013 dibagi menjadi 4 lapis perkerasan, dan metode bina marga 2017 varian CTB dibagi menjadi 5 lapis perkerasan sedangkan varian berbutir dibagi menjadi 4 lapis perkerasan. metode bina marga 2002 menghasilkan tebal lapisan permukaan terbesar, sedangkan metode bina marga 2013 dan 2017 menghasilkan tebal lapisan permukaan yang relatif sama. Hal tersebut disebabkan pada metode bina marga 2013 dan 2017 lapisan permukaan terbagi menjadi AC WC dan AC BC sehingga kekuatannya terbagi, sedangkan pada metode bina marga 2002 hanya menggunakan modulus tipikal AC WC sehingga hasil desain lapisan permukaan menjadi sangat tebal. Metode bina marga 2002 menghasilkan total tebal perkerasan terbesar, sedangkan metode bina marga 2013 dan 2017 menghasilkan total tebal perkerasan yang relatif sama. Disimpulkan bahwa hasil perhitungan tebal perkerasan pada metode bina marga 2002 sangat tidak optimal karena menghasilkan tebal lapis permukaan dan total tebal perkerasan terbesar, sedangkan metode bina marga 2017 sangat optimal karena menghasilkan tebal lapis permukaan dan total tebal perkerasan terkecil. Dapat dinyatakan seperti itu, karena semakin besar tebal lapis permukaan akan berdampak pada semakin besar biaya konstruksinya, serta metode bina marga 2017 secara umum hasil desainnya sama dengan metode 2013, namun pada varian CTB terbagi dalam 5 lapis perkerasan sehingga tentu distribusi dari tegangan dan regangan yang disebabkan oleh beban kendaraan yang melintas akan semakin baik.

Perbandingan regangan horisontal dan vertikal antar metode

Rangkuman nilai regangan horisontal dan vertikal antar metode, tertera pada Tabel 9.

Tabel 9. Perbandingan regangan horisontal dan vertikal antar metode

Metode	Tipe Pondasi	Et	Ec
2002	<i>Granular</i>	8,94E-05	1,78E-04
	Beraspal	4,79E-05	1,15E-04
	Bersemen	6,82E-06	4,59E-05
2013	CTB	1,07E-04	2,84E-04
	Berbutir	1,16E-04	2,14E-04
2017	CTB	1,02E-04	2,72E-04
	Berbutir	1,38E-04	2,50E-04

Metode bina marga 2002 varian LPA bersemen menghasilkan regangan horisontal terkecil, sedangkan metode bina marga 2002 varian LPA bersemen dapat menahan beban lalu lintas lebih besar daripada metode bina marga 2013 dan 2017. Metode bina marga 2002 varian LPA bersemen menghasilkan regangan vertikal terkecil, sedangkan metode bina marga 2013 varian LPA bersemen dapat menahan beban lalu lintas lebih besar daripada metode bina marga 2013 dan 2017. Disimpulkan bahwa hasil perhitungan regangan horisontal dan vertikal pada metode bina marga 2002 lebih baik dibandingkan metode bina marga 2013 dan 2017. Hal tersebut disebabkan pada metode bina marga 2002 menghasilkan regangan horisontal dan verikal terkecil dibandingkan dengan metode bina marga 2013 dan 2017, maka dapat dianggap mampu menahan beban lalu lintas lebih banyak dibandingkan dengan metode bina marga 2013 dan 2017.

Perbandingan repetisi izin kerusakan fatik dan retak alur antar metode

Rangkuman hasil perhitungan nilai nf dan nd antar metode, tertera pada Tabel 10.

Tabel 10. Perbandingan nilai Nf dan Nd antar metode

Metode	Tipe Pondasi	W18 (Perhari)	Nf	Nd
2002	<i>Granular</i>		5.298.518,38	84.194.173,32
	Beraspal	17.180,68	41.254.217,35	586.151.529,41
	Bersemen		25.322.099.709,78	36.250.702.417,93
2013	CTB	10.852,95	5.941.843,99	10.286.264,18
	Berbutir		3.544.405,03	36.863.605,15
2017	CTB	10.852,95	5.509.303,09	12.601.698,67
	Berbutir		2.005.006,25	18.360.725,48

Metode bina marga 2002, 2013 dan 2017 disimpulkan kuat terhadap kerusakan fatik maupun retak alur. Hal tersebut dibuktikan oleh Tabel 10 yang menunjukkan repetisi izin terhadap kerusakan fatik (Nf) dan repetisi izin terhadap kerusakan retak alur (Nd) ketiga metode tersebut lebih besar dibandingkan W18 perhari. Metode bina marga 2002 varian LPA bersemen menghasilkan repetisi izin terhadap kerusakan fatik (Nf) terbesar, sedangkan metode bina marga 2017 varian lapis fondasi berbutir menghasilkan repetisi izin terhadap kerusakan fatik (Nf) terkecil, artinya perkerasan jalan metode bina marga 2002 varian LPA bersemen lebih baik karena dianggap mampu menahan lebih banyak beban kendaraan dibandingkan metode bina marga 2017 varian lapis fondasi berbutir sebelum terjadi rusak fatik. Metode bina marga 2002 varian LPA bersemen menghasilkan repetisi izin terhadap kerusakan retak alur (Nd) terbesar, sedangkan metode bina marga 2013 varian lapis fondasi CTB menghasilkan repetisi izin terhadap kerusakan retak alur (Nd) terkecil, artinya perkerasan jalan metode bina marga 2002 varian LPA bersemen lebih baik karena dianggap mampu menahan lebih banyak beban kendaraan dibandingkan metode bina marga 2013 varian lapis fondasi CTB sebelum terjadi rusak retak alur. Namun metode bina marga 2002 dapat dianggap *Over Design* baik terhadap kerusakan fatik maupun retak alur karena nilai repetisi izin yang dihasilkan terlampaui jauh dari nilai W18 per hari. Sedangkan metode bina marga 2017 dapat dianggap desain yang lebih optimal karena nilai repetisi izin baik fatik maupun retak alur yang dihasilkan tidak terlampaui jauh dari nilai W18 perhari.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dengan mendesain ulang dan analisis respons struktural pekerasan lentur menggunakan metode bina marga 2002, 2013 dan 2017 serta dibantu dengan program KENPAVE didapatkan beberapa kesimpulan yaitu:

1. Metode bina marga 2002 menghasilkan nilai *Vehicle Damage Factor* (VDF) yang lebih besar dibandingkan metode bina marga 2013 dan 2017. Hal tersebut disebabkan, pada pedoman metode 2002 belum disediakan nilai *Vehicle Damage Factor* (VDF) melainkan disediakan rumus mendapatkan angka ekivalen beban gandar sumbu kendaraan (E) yang selanjutnya disesuaikan dengan golongan kendaraan yang berlaku pada jalan tol. Sedangkan pada pedoman metode bina marga 2013 dan 2017, telah disediakan nilai *Vehicle Damage Factor* (VDF).
2. Metode bina marga 2002 menghasilkan total perhitungan *Cumulative Single Axle* (CESA) terbesar, dibandingkan metode bina marga 2013 dan 2017.
3. Metode bina marga 2002 memiliki nilai modulus tipikal pada lapisan permukaan terbesar, dibandingkan metode bina marga 2013 dan 2017. Hal tersebut disebabkan pada pedoman metode bina marga 2002 belum disediakan nilai modulus tipikal sehingga nilai modulus tipikal pada lapisan permukaan ditentukan dengan cermat dan mempertimbangkan aspek volume lalu-lintas, umur rencana, dan biaya oleh perencana, serta nilai modulus tipikal pada lapisan pondasi atas dan bawah metode bina marga 2002 didapat dengan menarik grafik yang telah disediakan. Pada pedoman metode bina marga 2013 dan 2017, telah disediakan nilai modulus tipikal untuk tiap jenis perkerasan pada tiap lapisan perkerasan.
4. Desain perkerasan lentur metode bina marga 2002 menyediakan 3 varian LPA yaitu: granular, beraspal, dan bersemen, sedangkan pada metode bina marga 2013 dan 2017 menyediakan 2 varian lapis fondasi yaitu: *cement treated base* dan berbutir. Metode bina marga 2002 terdiri dari 3 lapisan perkerasan, metode bina marga 2013 terdiri dari 4 lapisan perkerasan, dan metode bina marga 2017 varian lapis fondasi *cement treated base* terdiri dari 5 lapisan perkerasan serta varian lapis fondasi berbutir terdiri dari 4 lapisan perkerasan.
5. Berdasarkan hasil perhitungan tebal perkerasan, metode bina marga 2002 sangat tidak optimal dan metode bina marga 2017 paling optimal, karena metode bina marga 2002 menghasilkan tebal lapisan permukaan dan total tebal perkerasan terbesar, sedangkan metode bina marga 2013 dan 2017 menghasilkan tebal lapisan permukaan yang relatif tipis. Hal tersebut disebabkan pada metode bina marga 2013 dan 2017 lapisan permukaan terbagi menjadi AC WC dan AC BC sehingga kekuatannya terbagi, sedangkan pada metode bina marga 2002 hanya menggunakan modulus tipikal AC WC sehingga hasil desain lapisan permukaan menjadi sangat tebal. Serta pada metode bina marga 2017 varian lapis fondasi CTB terdiri dari 5 lapis perkerasan sehingga distribusi tegangan dan regangan yang disebabkan oleh beban kendaraan yang melintas paling optimal.
6. Berdasarkan hasil perhitungan repetisi izin terhadap kerusakan fatik (Nf) dan terhadap kerusakan retak alur (Nd), pada metode bina marga 2002 kurang optimal dan pada metode bina marga 2017 paling optimal. Namun metode bina marga 2002 dianggap *Over Design* baik terhadap kerusakan fatik maupun retak alur karena nilai repetisi izin yang dihasilkan terlampaui jauh dari nilai W18 per hari. Sedangkan metode bina marga 2017 dapat dianggap lebih optimal karena nilai repetisi izin baik fatik maupun retak alur yang dihasilkan tidak terlampaui jauh dari nilai W18 perhari.

Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dengan mendesain ulang dan analisis respons struktural pekerasan lentur menggunakan metode bina marga 2002, 2013 dan 2017 serta dibantu dengan program KENPAVE didapatkan beberapa saran untuk penelitian selanjutnya, yaitu:

1. Untuk penelitian selanjutnya perlu menganalisis repons struktural lainnya, seperti tegangan dan defleksi.
2. Perencanaan perkerasan lentur harus mempertimbangkan aspek volume lalu-lintas, umur rencana dan biaya.
3. Perlu diteliti studi kasus pada ruas jalan tol lain dengan volume lalu lintas yang beragam.

DAFTAR PUSTAKA

- A.N. Tajudin dan R. Priyatna. "Effect of Axle and Tire Configurations on Flexible Pavement." 508.1 (2019): 012004.
- Eldon J. Yoder, Matthew W. Witczak. "Principles Of Pavement Design 2nd Edition. New York: John Wiley & Sons, Inc, 1975.
- Huang, Yang H. Pavement Analisis and Design. New Jersey: Pearson Education Inc, 2004.
- Sukirman, Silvia. Perencanaan Tebal Struktur Perkerasan Lentur. Bandung: Nova, 2010
- Putri, C.K. Prediksi Nilai Kerusakan Perkerasan Lentur dengan Metode Mekanistik Empirik (Studi Kasus: Rekonstruksi Jl. Arteri Selatan) (2014): Universitas Gajah Mada.
- , Pedoman Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Pt. T-01-B. Jakarta: Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, 2002.
- , Manual Perkerasan Jalan 2013 Nomor 02/M/BM/2013. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum, 2013.
- , Manual Perkerasan Jalan 2017 Nomor 04/SE/Db/2017. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum, 2017.