

EVALUASI KINERJA STRUKTUR PERKERASAN JALAN LENTUR MENGGUNAKAN APLIKASI KENPAVE

(Studi Kasus Jalan Lintas Selatan Lot 6 Tulungagung)

Nur Lia

Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail: nurlia.18013@mhs.unesa.ac.id

Purwo Mahardi

Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail: purwomahardi@unesa.ac.id

Abstrak

Jalan merupakan salah satu bagian terpenting dalam mendukung terjadinya kegiatan transportasi. Untuk menciptakan jalan yang aman dan nyaman diperlukan perencanaan struktur perkerasan jalan yang baik. Perencanaan struktur perkerasan jalan dapat menggunakan metode empiris dengan memperhatikan faktor-faktor penyebab terjadinya kegagalan dan kerusakan pada struktur perkerasan jalan adalah muatan kendaraan yang melebihi kapasitas kendaraan dan meningkatnya volume kendaraan. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi kinerja struktur perkerasan jalan untuk memastikan struktur perkerasan mampu menerima beban lalu-lintas selama umur rencana. Evaluasi kinerja struktur perkerasan jalan menggunakan pendekatan mekanistik-empirik yaitu menggunakan aplikasi *Kenpave*. Perencanaan struktur perkerasan jalan lentur menggunakan tiga metode empiris yaitu metode AASHTO 1993, Analisa Komponen, dan Bina Marga 2017 untuk membandingkan kinerja struktur perkerasan jalan lentur yang dihasilkan. Serta melakukan analisis kerusakan dengan menghitung repetisi beban menggunakan persamaan *asphalt institute*. Penelitian ini bersumber dari data sekunder pada Jalan Lintas Selatan Lot 6 Tulungagung. Dari hasil evaluasi kinerja struktur perkerasan jalan menggunakan aplikasi *Kenpave* diketahui bahwa struktur perkerasan metode AASHTO 1993 dan metode Bina Marga 2017 terjadi retak leleh (*fatigue cracking*) sedangkan metode Analisa Komponen tidak terjadi retak leleh (*fatigue cracking*) selama umur rencana. Struktur perkerasan jalan lentur metode AASHTO 1993 dan metode Analisa Komponen tidak terjadi retak alur (*rutting*) akan tetapi metode Bina Marga 2017 terjadi retak alur (*rutting*) selama umur rencana. Struktur perkerasan jalan lentur metode AASHTO 1993, metode Analisa Komponen, dan metode Bina Marga 2017 tidak terjadi deformasi permanen (*permanent deformation*) selama umur rencana.

Kata Kunci: perkerasan lentur, kenpave, retak leleh, retak alur, deformasi permanen.

Abstract

Roads are one of the most important parts in supporting the occurrence of transportation activities. To create a safe and comfortable road, a good pavement structure planning is needed. Road pavement planning can use empirical methods by taking into account the factors that cause failure and damage to the road pavement structure are vehicle loads that exceed vehicle capacity and vehicle volume. Therefore, the evaluation of road pavement performance to ensure the pavement structure is able to accept traffic loads during the design life. Evaluation performance of the road pavement structure using a mechanistic-empirical approach using the *Kenpave* application. The flexible pavement structure design uses three empirical methods, namely the 1993 AASHTO method, Analisa Komponen, and 2017 Bina Marga to compare the performance of the flexible pavement structure produced. As well as doing damage analysis by calculating load repetitions using the *asphalt institute*. This research is sourced from secondary data on the South Cross Road Lot 6 Tulungagung. From the results of the evaluation performance road pavement structure using the *Kenpave* application, it is known that the 1993 AASHTO method pavement structure and the 2017 Bina Marga method have fatigue cracking while the Analisa Komponen method does not occur fatigue cracking during the design life. The flexible pavement structure using the 1993 AASHTO method and the Analisa Komponen method did not occur rutting, but the 2017 Bina Marga method occurred rutting during the design life. The flexible pavement structure of the 1993 AASHTO method, the Analisa Komponen method, and the 2017 Bina Marga method did not occur permanent deformation during the design life.

Keywords: flexible pavement, kenpave, fatigue cracking, rutting, permanent deformation.

PENDAHULUAN

Jalan merupakan salah satu bagian terpenting dalam mendukung terjadinya kegiatan transportasi. Dengan adanya jalan dapat mempermudah manusia untuk berpindah tempat ataupun memindahkan barang dan jasa dari satu tempat ketempat lainnya (Pattipeilohy dkk, 2019). Struktur perkerasan jalan merupakan lapisan-lapisan yang disusun di atas tanah dasar yang bertujuan untuk mendistribusikan beban lalu-lintas ke tanah dasar. Sebab itu, diperlukan perencanaan struktur perkerasan jalan yang baik untuk menciptakan jalan yang aman dan nyaman (Setiawan dkk, 2018).

Perencanaan struktur perkerasan dapat menggunakan metode empiris yang dikeluarkan beberapa Negara. Di Indonesia sendiri memiliki metode perencanaan perkerasan jalan yaitu Manual Desain Perkerasan Jalan yang dikeluarkan oleh Ditjen Bina Marga. Selain itu, Amerika juga mengeluarkan metode perencanaan struktur jalan yaitu AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*). Dua metode tersebut merupakan metode perencanaan yang sering digunakan di Indonesia (Mantiri dkk, 2019).

Pada perencanaan struktur perkerasan jalan harus memperhatikan beberapa faktor penyebab terjadinya kegagalan dan kerusakan struktur baik faktor alam maupun faktor manusia. Faktor manusia sering menjadi faktor penyebab kerusakan jalan yaitu muatan kendaraan yang melebihi kapasitas dan meningkatnya volume kendaraan setiap tahunnya (Talani, 2017). Dengan meningkatnya volume kendaraan setiap tahunnya memungkinkan jalan akan mengalami kerusakan dalam waktu yang singkat (Nabillah dan Radam, 2020). Kegagalan atau kerusakan struktur perkerasan terjadi karena struktur perkerasan lentur mengalami deformasi permanen (*permanent deformation*), retak alur (*rutting*) dan retak lelah (*fatigue cracking*) (Ghadimi dkk, 2013).

Oleh karena itu, setelah melakukan perencanaan struktur perkerasan jalan, harus dilakukan evaluasi untuk mengetahui dan memastikan apakah struktur perkerasan tersebut dapat menerima beban lalu-lintas rencana selama umur rencana atau tidak. Untuk mengevaluasi struktur perkerasan jalan dapat menggunakan pendekatan mekanistik-empirik yaitu dengan bantuan aplikasi *Kenpave*. Aplikasi *Kenpave* merupakan perangkat lunak yang dikembangkan oleh Dr. Yang H. Huang P.E. Aplikasi *Kenpave* diciptakan untuk menganalisis regangan tarik dan regangan tekan yang terjadi pada struktur perkerasan jalan (Ramadhani, 2018). Pada aplikasi *Kenpave* memiliki

empat program yaitu *Slabsinp*, *Kenlabs*, *Layerinp*, dan *Kenlayer*. Untuk analisis struktur perkerasan jalan lentur dapat menggunakan dua program yaitu *Layerinp* dan *Kenlayer* (Khairi dan Muis, 2013). *Kenlayer* adalah perangkat lunak atau aplikasi yang efektif dalam menganalisis struktur perkerasan lentur (Chegenizadeh dkk, 2016)

Berdasarkan hal tersebut, penulis melakukan penelitian mengenai evaluasi kinerja struktur perkerasan jalan lentur. Dalam penelitian ini dilakukan perencanaan struktur perkerasan jalan lentur menggunakan metode AASHTO 1993, metode Analisa Komponen, dan Bina Marga 2017. Perencanaan menggunakan tiga metode tersebut untuk membandingkan kinerja struktur perkerasan yang dibutuhkan menggunakan aplikasi *Kenpave*. Lalu melakukan analisis kerusakan dengan menghitung repetisi beban menggunakan persamaan *asphalt institute*. Penelitian ini bersumber dari data sekunder pada Ruas Jalan Lintas Selatan Lot 6 Tulungagung.

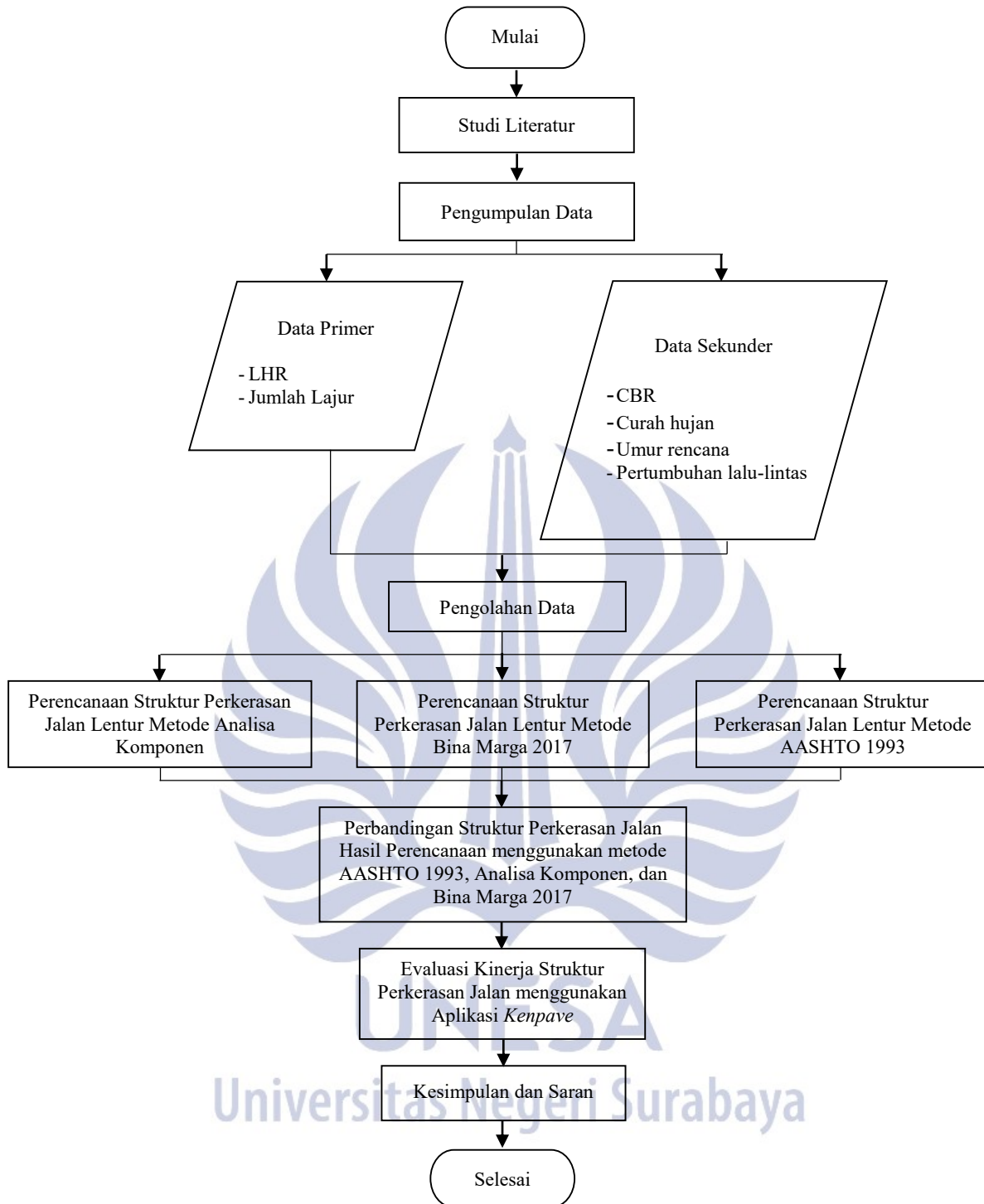
Berdasarkan uraian sebelumnya, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah (1) bagaimana hasil perencanaan struktur perkerasan jalan lentur menggunakan metode Analisa Komponen, metode Bina Marga 2017, dan metode AASHTO 1993? (2) bagaimana hasil perbandingan perencanaan menggunakan metode Analisa Komponen, metode Bina Marga 2017, dan AASHTO 1993? (3) bagaimana evaluasi kinerja struktur perkerasan ketiga metode tersebut menggunakan aplikasi *Kenpave*?

Penelitian ini bertujuan untuk merencanakan struktur perkerasan jalan lentur menggunakan metode Analisa Komponen, metode Bina Marga 2017, dan metode AASHTO 1993 lalu membandingkan struktur perkerasan jalan lentur hasil perencanaan ketiga metode tersebut serta melakukan evaluasi kinerja struktur perkerasan jalan menggunakan aplikasi *Kenpave*.

METODE

Tahapan Penelitian

Pada penelitian ini dimulai dengan melakukan studi literature, pengumpulan data baik data primer dan sekunder, dan melakukan perencanaan struktur perkerasan jalan lentur menggunakan metode AASHTO 1993, Analisa Komponen, dan metode Bina Marga 2017 lalu membandingkan hasil perencanaan struktur perkerasan jalan lentur menggunakan ketiga metode tersebut serta mengevaluasi ketiga struktur perkerasan jalan lentur tersebut dengan melakukan pendekatan mekanistik-empirik menggunakan aplikasi *Kenpave*.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

Pengumpulan Data

Pada penelitian ini diperlukan beberapa data baik data primer maupun data sekunder. Data primer yang diperlukan yaitu (1) Lalu-lintas Harian Rata-rata (LHR) yang diperoleh dari survei lalu-lintas Jarakan (Trenggalek) - Batas Kabupaten Tulungagung yang dilakukan pada tahun 2020 (2) jumlah lajur. Data sekunder yang diperlukan yaitu (1) CBR (*California Bearing Ratio*) tanah dasar yang diperoleh dari Balai

Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Wilayah II Provinsi Jawa Timur (2) curah hujan yang diperoleh dari Badan Statistik Kabupaten Tulungagung (3) umur rencana (4) pertumbuhan lalu-lintas.

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini dilakukan pada Jalan Lintas Selatan Lot 6 Tulungagung. Pada ruas jalan tersebut terbagi menjadi 3 segmen yaitu (1) Karangsono-

Nglarap sepanjang 10,450 Km (2) Nglarap-Klatak sepanjang 4,414 Km (3) Besole-Brumbun sepanjang 2,875 Km.



Gambar 2. Lokasi Penelitian

Analisis Data

Pada penelitian ini analisis data diperlukan untuk membandingkan struktur perkerasan jalan lentur yang dihasilkan dari metode Analisa Komponen, metode Bina Marga 2017, dan metode AASHTO 1993 serta mengevaluasi ketiga struktur jalan tersebut dengan menggunakan aplikasi *Kenpave*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penyajian Data

- Umur rencana
Umur rencana yang digunakan adalah 20 tahun dengan awal umur rencana tahun 2023.
- Jumlah Lajur
Jumlah lajur pada Jalan Lintas Selatan Lot 6 Tulungagung adalah 2 lajur 2 arah. Jalan tersebut merupakan jalan kolektor primer yang menghubungkan Kabupaten Trenggalek dan Kabupaten Tulungagung.
- Data CBR tanah dasar
Berdasarkan data CBR tanah dasar yang diperoleh dari Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Wilayah II Jawa Timur nilai rata-rata CBR tanah dasar 4,38%.
- Lalu-lintas harian rata-rata
Pada perencanaan struktur perkerasan jalan ini data LHR diperoleh dari survei lalu-lintas pada Jarak (Trenggalek)-Batas Kabupaten Tulungagung. Survei lalu-lintas dilakukan selama 7 hari yaitu tanggal 23 April 2020 - 29 April 2020. Berikut adalah data LHR yang diperoleh:

Tabel 1. Data Lalu-Lintas Harian Rata-rata

Jenis Kendaraan	Golongan	LHR
Sedan, jeep dan st.wagon	2	3958
Pick-up, combi dan mini bus	3	86
Micro truk dan mobil hantaran	4	1241
Bus kecil	5a	14
Bus besar	5b	23

Truk 2 sumbu 4 roda	6a	93
Truk 2 sumbu 6 roda	6b	1535
Truk 3 sumbu	7a	42
Truk gandeng	7b	20
Truk semi trailer	7c	16

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga

- Data Curah Hujan
Data curah hujan yang digunakan adalah curah hujan rata-rata selama 10 tahun terakhir di Kecamatan Besuki Kabupaten Tulungagung. Berdasarkan data tersebut diperoleh rata-rata curah hujan sebesar 195 mm/tahun. Berikut adalah data curah hujan Kecamatan Besuki selama 10 tahun terakhir:

Tabel 2. Data Curah Hujan

Tahun	Rata-rata curah hujan(mm)/tahun
2010	289
2011	147
2012	165
2013	210
2014	176
2015	122
2016	306
2017	101
2018	157
2019	53
2020	218
Rata-rata curah hujan 10 tahun terakhir	195

Sumber: Badan Pusat Statistik Kabupaten Tulungagung

- Pertumbuhan Lalu-Lintas
Pertumbuhan kendaraan menggunakan rata-rata pertumbuhan kendaraan pada Kabupaten Trenggalek dan Kabupaten Tulungagung. Dikarenakan jalan tersebut merupakan jalan yang menghubungkan Kabupaten Trenggalek dan Kabupaten Tulungagung. Untuk menghitung pertumbuhan lalu-lintas dapat menggunakan jumlah kendaraan pada tahun 2018-2020 pada dua kabupaten tersebut. Sehingga didapatkan nilai pertumbuhan kendaraan pada tabel berikut:

Tabel 3. Jumlah Kendaraan dan Pertumbuhan Kendaraan

Kota	Tahun	Jumlah kendaraan	Pertumbuhan kendaraan / tahun (%)	Rata-rata pertumbuhan kendaraan(%)
Trenggalek	2018	292.828	-	4,75
	2019	311.039	6,22	
	2020	322.612	3,72	
Tulungagung	2018	680.460	-	4,75
	2019	720.188	5,83	
	2020	743.627	3,26	

Sumber: Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Timur dan Pengolahan Data

Metode AASHTO 1993

Pada penelitian ini, dilakukan perencanaan struktur perkerasan jalan menggunakan tiga metode salah satunya adalah metode AASHTO 1993. Metode empiris yang digunakan dalam perencanaan struktur perkerasan jalan lentur adalah metode AASHTO 1993, metode Analisa Komponen, dan Bina Marga 2017. Berikut merupakan parameter-parameter yang digunakan dalam perencanaan metode AASHTO 1993:

1. Beban Lalu-Lintas

Beban lalu-lintas merupakan jumlah total beban sumbu kendaraan (W18). Nilai W18 dapat dicari dengan menggunakan rumus berikut:

$$W18 = DD \times DL \times \text{total ESAL} \times 365 \times N \quad (1)$$

Dimana:

- DD = faktor distribusi arah (0,3-0,7)
- DL = faktor distribusi lajur (80-100%)
- ESAL = LHR x Faktor ekivalen
- N = Faktor umur rencana

Tabel 4. Perhitungan Nilai ESAL

Kendaraan	Gol	LHR	Faktor ekivalen	ESAL
Sedan, jeep dan st. Wagon	2	3958	0,002352	9,309216
Pick-up, combi dan mini bus	3	86	0,277779	23,888994
Micro truk, dan mobil hantaran	4	1241	0,277779	344,723739
Bus kecil	5a	14	0,277779	3,888906
Bus besar	5b	23	0,383904	8,829792
Truk 2 sumbu 4 roda	6a	93	0,277779	25,833447
Truk 2 sumbu 4 roda	6b	1535	3,082764	4732,04274
Truk 3 sumbu	7a	42	6,006458	252,271236
Truk gandeng	7b	20	4,877578	97,55156
Truk semi trailer	7c	16	7,470159	119,522544
Total ESAL				5617,862174

Sumber: Hasil Perhitungan

$$W18 = DD \times DL \times \text{total Esal} \times 365 \times N$$

$$= 0,5 \times 0,9 \times 5617,862174 \times 365 \times 40,1612$$

$$= 37.058.099,18 \text{ ESAL}$$

2. Nilai CBR tanah dasar

Nilai CBR tanah dasar sebesar 4,38%.

3. Reabilitas (R) dan deviasi normal standar (ZR)

Nilai reabilitas (R) yang digunakan 90% karena jalan tersebut merupakan jalan kolektor primer. Sedangkan nilai ZR yang digunakan adalah -1,282

4. Deviasi standar keseluruhan(S₀).

Untuk nilai S₀ perkerasan lentur adalah 0,45.

5. Nilai ΔPSI yang digunakan adalah 1,7.

6. Koefisien drainase (m) yang digunakan adalah 1,00

7. Koefisien kekuatan relative beban (a)

- E_{AC} = 445.000 Psi
- a₁ = 0,44(campuran aspal panas gradasi padat)
- E_{BS} = 30.650 Psi

a₂ = 0,14 (batu pecah)

- E_{SB} = 15.000 Psi

a₃ = 0,11 (kerikil berpasir)

8. Nilai modulus resilient (Mr)

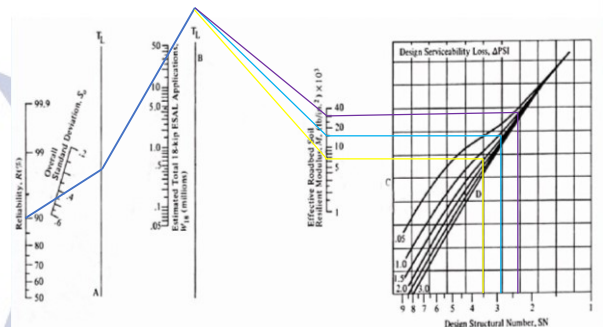
Nilai modulus resilient dapat dihitung menggunakan rumus berikut.

$$Mr = CBR \times 1500 \quad (2)$$

$$= 4,38 \times 1500$$

$$= 6570 \text{ Psi}$$

Berdasarkan parameter-parameter di atas dapat dihitung nilai SN (*Structural Number*). Pada perhitungan nilai SN pada penelitian ini menggunakan cara nomogram.



Gambar 3. Perhitungan Nilai SN menggunakan Nomogram

Dari cara nomogram di atas diperoleh nilai SN (*Structural Number*) sebagai berikut:

- SN₁ = 2,35
- SN₂ = 2,80

Dari nilai SN₁ dan SN₂ yang diperoleh digunakan untuk mengetahui tebal lapis perkerasan dengan menggunakan rumus-rumus sebagai berikut:

- Tebal lapis permukaan (D₁)

$$D_1 = SN_1 / a_1 \quad (3)$$

$$D_1 = 2,35 / 0,44$$

$$= 5,34 \text{ inchi}$$

$$= 13,563 \text{ cm} \approx 15 \text{ cm}$$

- Tebal lapis pondasi atas (D₂)

$$D_2 = (SN_2 - a_1 D_1) / a_2 m_2 \quad (4)$$

$$D_2 = (2,8 - 0,44 \cdot 5,34) / (0,14 \cdot 1)$$

$$= 2,93 \text{ inchi}$$

$$= 7,44 \text{ cm} \approx 10 \text{ cm}$$

- Tebal lapis pondasi bawah (D₃)

$$D_3 = (S_{ntotal} - (a_1 D_1 + a_2 D_2)) / a_3 m_3 \quad (5)$$

$$D_3 = (3,5 - (0,44 \cdot 5,34 + 0,14 \cdot 2,93)) / (0,11 \cdot 1)$$

$$= 6,73 \text{ inchi}$$

$$= 17,09 \text{ cm} \approx 20 \text{ cm}$$

Metode Analisa Komponen

Metode Analisa Komponen merupakan metode perencanaan struktur perkerasan jalan yang dikeluarkan Departemen Pekerjaan Umum pada tahun 1987. Metode Analisa Komponen adalah hasil modifikasi dari metode AASHTO 1972 revisi 1981 dengan menyesuaikan beberapa faktor diantaranya faktor alam, lingkungan, karakteristik tanah dasar dan jenis lapis perkerasan yang

dapat digunakan di Indonesia (Rahmawati dkk, 2018). Dalam perencanaan perkerasan jalan lentur metode Analisa Komponen menggunakan parameter-parameter sebagai berikut:

1. Kelas jalan kolektor primer.
2. Umur rencana 20 tahun.
3. Pertumbuhan lalu-lintas 4,75%.
4. CBR tanah dasar 4,38%
5. Material lapis perkerasan:
 - Lapis permukaan (Laston) $a_1 = 0,40$
 - Lapis pondasi atas (Batu pecah) $a_2 = 0,14$
 - Lapis pondasi bawah (Sirtu kelas A) $a_3 = 0,13$
6. Koefisien distribusi kendaraan (C) 0,5.
7. Kendaraan berat 24 %.
8. Lintas ekivalen rencana (LER) sebesar 3221.
9. Faktor regional 0,1.
10. Indeks Permukaan Awal (IPo) 3,5-3,9.
11. Indeks Permukaan Akhir (IPt) 2,5.

Dari parameter-parameter di atas dilakukan perhitungan dan diperoleh nilai ITP sebesar 13,5. Berdasarkan nilai ITP di atas didapatkan tebal lapis pondasi atas (D₂) 25 cm dan lapis pondasi bawah (D₃) 15 cm, maka tebal lapis permukaan (D₁) dapat dicari menggunakan rumus:

$$ITP = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3 \quad (6)$$

$$13,5 = 0,40 D_1 + 0,14 \cdot 25 + 0,13 \cdot 15$$

$$D_1 = 20,125 \approx 20 \text{ cm}$$

Metode Bina Marga 2017

Metode Bina Marga 2017 merupakan pedoman desain perkerasan jalan yang dimiliki Indonesia. Dalam

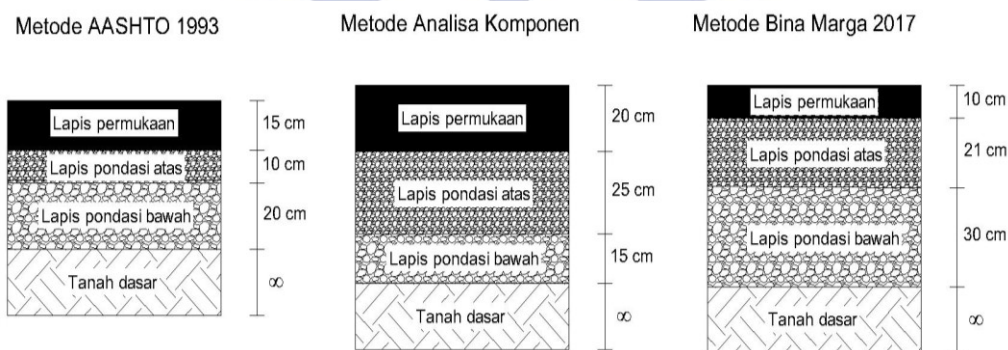
perencanaan struktur perkerasan jalan lentur metode Bina Marga 2017 menggunakan parameter-parameter sebagai berikut:

1. Umur rencana 20 tahun.
2. Faktor pertumbuhan lalu-lintas 4,75%.
3. Faktor distribusi arah (D_D) 0,50.
4. Faktor distribusi lajur (D_L) 100%.
5. Faktor ekuivalen beban (VDF).
6. Beban sumbu standar kumulatif (CESA5) sebesar 67.347.579,87.

Berdasarkan parameter-parameter di atas dapat ditentukan struktur perkerasan jalan lentur dengan lapis pondasi berbutir terdiri dari lapis AC-WC tebal 40 mm, lapis AC-BC tebal 60 mm, lapis pondasi atas tebal 210 mm, dan lapis pondasi bawah tebal 300mm.

Perbandingan Struktur Perkerasan

Metode perhitungan struktur perkerasan jalan lentur menggunakan tiga metode yaitu metode AASHTO 1993, metode Analisa Komponen, dan Bina Marga 2017. Hasil perencanaan metode AASHTO 1993 diperlukan struktur perkerasan jalan lentur yang terdiri dari lapis permukaan tebal 15 cm, lapis pondasi atas tebal 10 cm, dan lapis pondasi bawah tebal 20 cm. Untuk hasil perencanaan metode Analisa Komponen diperlukan struktur perkerasan jalan lentur yang terdiri dari lapis permukaan tebal 20 cm, lapis pondasi atas tebal 25 cm, dan lapis pondasi bawah tebal 15 cm. Hasil perencanaan metode Bina Marga 2017 diperlukan struktur perkerasan jalan lentur yang terdiri dari lapis permukaan tebal 10 cm, lapis pondasi atas tebal 21 cm, dan lapis pondasi bawah tebal 30 cm. Perbandingan struktur perkerasan jalan lentur menggunakan tiga metode dapat dilihat pada gambar 4 berikut ini.



Gambar 4. Perbandingan Struktur Perkerasan

Evaluasi Kinerja Struktur Perkerasan Jalan Lentur menggunakan Aplikasi *Kenpave*

Evaluasi kinerja struktur perkerasan jalan ini bertujuan untuk mengetahui dan memastikan struktur perkerasan jalan mampu untuk menerima beban lalu-lintas rencana selama umur rencana. Untuk itu diperlukan analisis kerusakan yang terjadi pada struktur perkerasan jalan dengan menggunakan aplikasi *Kenpave*. Pada analisis menggunakan aplikasi *Kenpave*

ini terdapat 2 titik yang ditinjau yaitu titik 1 merupakan letak kerusakan retak leleh (*fatigue cracking*) dan retak alur (*rutting*) sedangkan titik 2 merupakan letak kerusakan deformasi permanen (*permanent deformation*). Titik 1 terletak pada dasar lapis permukaan (*surface*) dan titik 2 terletak pada permukaan tanah dasar (*subgrade*).

Input data

Input data yang dibutuhkan pada aplikasi *Kenpave* adalah modulus elastisitas, *poisson ratio*, tekanan roda, beban roda, dan tebal perkerasan. Data-data tersebut merupakan karakteristik dan material perkerasan jalan yang digunakan (Rahmawati dkk, 2018). Nilai modulus elastisitas dan *poisson ratio* didapatkan dari Bina Marga 2017. Tabel 5 merupakan nilai modulus elastisitas dan *poisson ratio* dan tabel 6 merupakan struktur perkerasan jalan lentur hasil perencanaan menggunakan metode AASHTO 1993, Analisa Komponen, dan Bina Marga 2017.

Tabel 5. Nilai Modulus Elastisitas dan *Poisson Ratio*

	E (KPa)	μ
Lapis Permukaan	1200000	0,40
Lapis Pondasi Atas	1600000	0,40
Lapis Pondasi Bawah	500000	0,35
Tanah Dasar	450000	0,45

Sumber: Bina Marga 2017

Tabel 6. Struktur Perkerasan Jalan

	Metode AASHTO 1993	Metode Analisa Komponen	Metode Bina Marga 2017
Lapis Permukaan	15 cm	20 cm	10 cm
Lapis Pondasi Atas	10 cm	25 cm	21 cm
Lapis Pondasi Bawah	20 cm	15 cm	30 cm
Tanah Dasar	∞	∞	∞

Sumber: hasil perhitungan

Hasil Output Aplikasi *Kenpave*

Struktur perkerasan jalan yang dihasilkan tiga metode tersebut dianalisis menggunakan aplikasi *Kenpave*. Hasil *output* dari aplikasi *Kenpave* berupa *horizontal strain* (ϵ_t) yang terletak di bawah lapis permukaan, *vertical strain* (ϵ_c) yang terletak di bawah lapis permukaan dan *vertical strain* (ϵ_c) yang terletak di permukaan tanah dasar. Berikut merupakan hasil *output* dari aplikasi *Kenpave*.

Tabel 7. *Output* Regangan Metode AASHTO 1993

Poin	<i>Horizontal Strain</i> (ϵ_t) (14,9997 cm)	<i>Vertical Strain</i> (ϵ_c) (14,9997 cm)	<i>Vertical Strain</i> (ϵ_c) (45,0003 cm)
1	- 0,00006338	0,0001727	0,0000985
2	- 0,00005828	0,0001087	0,0001075
3	- 0,00005392	0,0000712	0,0001089
Maks	- 0,00006338	0,0001727	0,0001089

Tabel 8. *Output* Regangan Metode Analisa Komponen

Poin	<i>Horizontal Strain</i> (ϵ_t) (19,9997 cm)	<i>Vertical Strain</i> (ϵ_c) (19,9997 cm)	<i>Vertical Strain</i> (ϵ_c) (60,0003 cm)
1	- 0,00004754	0,0001272	0,00005957
2	- 0,00004685	0,0000962	0,00006451
3	- 0,00004528	0,0000790	0,00006542
Maks	- 0,00005754	0,0001272	0,00006542

Tabel 9. *Output* Regangan Metode Bina Marga 2017

Poin	<i>Horizontal Strain</i> (ϵ_t) (9,9997 cm)	<i>Vertical Strain</i> (ϵ_c) (9,9997 cm)	<i>Vertical Strain</i> (ϵ_c) (61,0003 cm)
1	- 0,00006411	0,0002330	0,00006230
2	- 0,00005246	0,0001121	0,00006740
3	- 0,00004137	0,0000250	0,00006835
Maks	- 0,00006411	0,0002330	0,00006835

Analisis Kerusakan Struktur Perkerasan Jalan

Dari hasil *output* aplikasi *kenpave* diketahui nilai *horizontal strain* (ϵ_t) dan *vertical strain* (ϵ_c). Kedua nilai tersebut digunakan untuk menganalisis kerusakan struktur perkerasan jalan yang terjadi akibat beban lalu-lintas rencana. Untuk menganalisis kerusakan struktur perkerasan jalan menggunakan persamaan *asphalt institute* sehingga repetisi beban rencana terhadap retak lelah (*fatigue cracking*), retak alur (*rutting*) dan deformasi permanen (*permanent deformation*) dapat diketahui. Dibawah ini merupakan persamaan *asphalt institute* yang digunakan dalam analisis kerusakan struktur perkerasan jalan.

1. Retak Lelah (*fatigue cracking*)

$$N_f = 0,0796 (\epsilon_t)^{-3,291} (EAC)^{-0,854} \quad (6)$$

Dimana:

N_f = Jumlah repetisi beban.

ϵ_t = Regangan tarik di bawah lapis permukaan

EAC = Modulus elastisitas lapis permukaan

2. Retak Alur (*rutting*)

$$N_d = 1,365E-9 (\epsilon_c)^{-4,477} \quad (7)$$

Dimana:

N_d = Jumlah repetisi beban

ϵ_c = Regangan tekan di bawah lapis permukaan

3. Deformasi Permanen (*permanent deformation*)

$$N_d = 1,365E-9 (\epsilon_c)^{-4,477} \quad (8)$$

Dimana:

N_d = Jumlah repetisi beban

ϵ_c = Regangan tekan di permukaan tanah dasar

Berdasarkan persamaan *asphalt institute* di atas, maka repetisi beban berupa nilai N_f dan N_d dapat dihitung. Hasil perhitungan nilai N_f dan N_d dapat dilihat pada Tabel 10. Dan evaluasi kinerja struktur perkerasan jalan akibat beban lalu-lintas rencana dapat dilihat pada Tabel 11, Tabel 12 dan Tabel 13 berikut ini.

Tabel 10. Repetisi Beban Retak Lelah, Retak Alur dan Deformasi Permanen

	<i>Fatigue Cracking</i> Nf (ESAL)	<i>Rutting</i> Nd (ESAL)	<i>Permanent Deformation</i> Nd (ESAL)
Metode AASHTO 1993	33.501.748,86	95.669.797,8	753.978.277,3
Metode Analisa Komponen	46.050.195,94	376.135.092,5	7.382.382.863
Metode Bina Marga 2017	32.262.613,98	25.031.114,8	6.067.479.284

 Tabel 11. Evaluasi Kinerja Struktur terhadap Retak Lelah (*Fatigue Cracking*)

	Beban lalu lintas rencana (Nr) (ESAL)	<i>Fatigue cracking</i> (Nf)(ESAL)	Evaluasi Kinerja Struktur
Metode AASHTO 1993	37.058.099,18	33.501.748,86	Nf<Nr (tidak memenuhi)
Metode Analisa Komponen	37.058.099,18	46.050.195,94	Nf>Nr (memenuhi)
Metode Bina Marga 2017	37.058.099,18	32.262.613,98	Nf<Nr (tidak memenuhi)

 Tabel 12. Evaluasi Kinerja Struktur terhadap Retak Lelah (*Rutting*)

	Beban lalu lintas rencana (Nr) (ESAL)	<i>Rutting</i> (Nd)(ESAL)	Evaluasi Kinerja Struktur
Metode AASHTO 1993	37.058.099,18	95.669.797,8	Nf>Nr (memenuhi)
Metode Analisa Komponen	37.058.099,18	376.135.092,5	Nf>Nr (memenuhi)
Metode Bina Marga 2017	37.058.099,18	25.031.114,8	Nf<Nr (tidak memenuhi)

 Tabel 13. Evaluasi Kinerja Struktur terhadap Deformasi Permanen (*Permanent Deformation*)

	Beban lalu lintas rencana (Nr) (ESAL)	<i>Permanent Deformation</i> (Nd)(ESAL)	Evaluasi Kinerja Struktur
Metode AASHTO 1993	37.058.099,18	753.978.277,3	Nf>Nr (memenuhi)
Metode Analisa Komponen	37.058.099,18	7.382.382.863	Nf>Nr (memenuhi)
Metode Bina Marga 2017	37.058.099,18	6.067.479.284	Nf>Nr (memenuhi)

Struktur perkerasan jalan lentur hasil perencanaan menggunakan metode AASHTO 1993, analisis kinerja struktur perkerasan jalan lentur terhadap retak lelah (*fatigue cracking*) (Nf) sebesar 33.501.748,86 ESAL dan dapat diartikan bahwa nilai Nf tersebut tidak memenuhi persyaratan yaitu nilai Nf lebih kecil dari beban lalu-lintas rencana sebesar 37.058.099,18 ESAL. Untuk repetisi beban terhadap retak (*rutting*) (Nd) sebesar 95.669.797,8 ESAL dan dapat diartikan nilai Nd tersebut memenuhi beban lalu-lintas rencana sebesar 37.058.099,18 ESAL. Untuk repetisi beban terhadap deformasi permanen (*permanent deformation*) (Nd) sebesar 753.978.277,3 ESAL dan dapat diartikan nilai Nd tersebut memenuhi beban lalu-lintas rencana sebesar 37.058.099,18 ESAL.

Struktur perkerasan jalan lentur hasil perencanaan menggunakan metode Analisa Komponen, evaluasi kinerja struktur perkerasan jalan lentur terhadap retak lelah (*fatigue cracking*) (Nf) sebesar 46.050.195,94 ESAL dan dapat diartikan bahwa nilai Nf tersebut memenuhi persyaratan yaitu nilai Nf lebih besar dari beban lalu-lintas rencana sebesar 37.058.099,18 ESAL. Untuk repetisi beban terhadap retak (*rutting*) (Nd) sebesar 376.135.092,5 ESAL dan dapat diartikan nilai Nd tersebut memenuhi beban lalu-lintas rencana sebesar 37.058.099,18 ESAL. Untuk repetisi beban terhadap deformasi permanen (*permanent deformation*) (Nd) sebesar 7.382.382.863 ESAL dan dapat diartikan nilai Nd tersebut memenuhi beban lalu-lintas rencana sebesar 37.058.099,18 ESAL.

Struktur perkerasan jalan lentur hasil perencanaan menggunakan metode Bina Marga 2017, evaluasi kinerja struktur perkerasan jalan lentur terhadap retak lelah (*fatigue cracking*) (Nf) sebesar 32.262.613,98 ESAL dan dapat diartikan bahwa nilai Nf tersebut tidak memenuhi persyaratan yaitu nilai Nf lebih kecil dari beban lalu-lintas rencana sebesar 37.058.099,18 ESAL. Untuk repetisi beban terhadap retak (*rutting*) (Nd) sebesar 25.031.114,8 ESAL dan dapat diartikan nilai Nd tersebut tidak memenuhi beban lalu-lintas rencana sebesar 37.058.099,18 ESAL. Untuk repetisi beban terhadap deformasi permanen (*permanent deformation*) (Nd) sebesar 6.067.479.284 ESAL dan dapat diartikan nilai Nd tersebut memenuhi beban lalu-lintas rencana sebesar 37.058.099,18 ESAL.

Struktur perkerasan jalan lentur metode AASHTO 1993 dan Bina Marga 2017 terjadi retak lelah (*fatigue cracking*) sedangkan metode Analisa Komponen tidak terjadi retak lelah (*fatigue cracking*) selama umur rencana. Struktur perkerasan jalan lentur metode AASHTO 1993 dan metode Analisa Komponen tidak terjadi retak alur (*rutting*) akan tetapi metode Bina Marga 2107 terjadi retak alur (*rutting*) selama umur rencana. Struktur perkerasan jalan lentur metode AASHTO 1993, metode Analisa Komponen, dan metode Bina Marga 2017 tidak terjadi deformasi permanen (*permanent deformation*) selama umur rencana. Untuk mempertahankan struktur perkerasan jalan tetap bekerja dengan optimal selama umur rencana maka perlu dilakukan pemeliharaan dan rehabilitasi

secara berkala (Birasungi dkk, 2019). Semakin besar nilai modulus elastisitas maka semakin kecil regangan tarik di bawah lapis permukaan dan regangan tekan di atas permukaan tanah dasar (Tajudin dkk, 2014). Dengan meningkatkan ketebalan dan modulus elastisitas dapat mengurangi retak alur (*rutting*) dan retak leleh (*fatigue cracking*)(Ranadive dan Tapase, 2016).

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan analisis dan evaluasi yang telah dilakukan, didapatkan beberapa kesimpulan berikut:

- Hasil perencanaan struktur perkerasan jalan lentur metode AASHTO 1993 dibutuhkan lapis pondasi bawah setebal 20 cm, lapis pondasi atas setebal 10 cm, dan lapis permukaan setebal 15 cm. Hasil perencanaan struktur perkerasan jalan lentur metode Analisa Komponen dibutuhkan lapis pondasi bawah setebal 15 cm, lapis pondasi atas setebal 25 cm, dan lapis permukaan setebal 20 cm. Hasil perencanaan struktur perkerasan jalan lentur metode Bina Marga 2017 dibutuhkan lapis pondasi bawah setebal 30 cm, lapis pondasi atas setebal 21 cm, dan lapis permukaan setebal 10 cm.
- Hasil perbandingan struktur perkerasan jalan lentur menggunakan tiga metode tersebut adalah total tebal lapis perkerasan jalan. Total tebal lapis perkerasan jalan lentur metode AASHTO 1993 setebal 45 cm, metode Analisa Komponen setebal 60 cm, dan metode Bina Marga 2017 setebal 61 cm.
- Hasil analisis kerusakan pada struktur perkerasan jalan menggunakan aplikasi *Kenpave* diperoleh repetisi beban yaitu nilai N_f (*fatigue cracking*) sebesar 33.501.748,86 ESAL, nilai N_d (*rutting*) sebesar 95.669.797,8 ESAL, dan nilai N_d (*permanent deformation*) sebesar 753.978.277,3 ESAL untuk metode AASHTO 1993. Pada struktur perkerasan jalan lentur metode Analisa Komponen diperoleh repetisi beban yaitu nilai N_f (*fatigue cracking*) sebesar 46.050.195,94 ESAL, nilai N_d (*rutting*) sebesar 376.135.092,5 ESAL, dan nilai N_d (*permanent deformation*) sebesar 7.382.382.863 ESAL. Pada struktur perkerasan jalan lentur metode Bina Marga 2017 diperoleh repetisi beban yaitu nilai N_f (*fatigue cracking*) sebesar 32.262.613,98 ESAL, nilai N_d (*rutting*) sebesar 25.031.114,8 ESAL, dan nilai N_d (*permanent deformation*) sebesar 6.067.479.284 ESAL. Berdasarkan dari evaluasi kinerja struktur perkerasan jalan menggunakan aplikasi *Kenpave* diketahui bahwa struktur perkerasan metode AASHTO 1993 dan metode Bina Marga 2017 terjadi retak leleh (*fatigue*

cracking) sedangkan metode Analisa Komponen tidak terjadi retak leleh (*fatigue cracking*) selama umur rencana. Struktur perkerasan jalan lentur metode AASHTO 1993 dan metode Analisa Komponen tidak terjadi retak alur (*rutting*) akan tetapi metode Bina Marga 2107 terjadi retak alur (*rutting*) selama umur rencana. Struktur perkerasan jalan lentur metode AASHTO 1993, metode Analisa Komponen, dan metode Bina Marga 2017 tidak terjadi deformasi permanen (*permanent deformation*) selama umur rencana.

Saran

Berdasarkan simpulan di atas diperoleh saran sebagai berikut.

- Penelitian ini hanya melakukan evaluasi kinerja struktur perkerasan jalan lentur tanpa mengevaluasi fungsional maka untuk penelitian selanjutnya diharapkan dapat mengevaluasi fungsional jalan tersebut sehingga dengan kombinasi hasil evaluasi kinerja struktur perkerasan dan fungsional jalan dapat disusun program rehabilitasi dan pemeliharaan pada struktur perkerasan jalan.
- Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan perencanaan struktur perkerasan jalan lentur menggunakan metode-metode dari Negara lain seperti metode *Austroads*, metode *The Asphalt Institute*, metode *Japan Assc*, dan metode NAASRA (*National Association Of Australian State Road Authorities*) untuk membandingkan metode mana yang lebih efisien.
- Pada penelitian selanjutnya diharapkan dapat dilakukan evaluasi kinerja struktur perkerasan jalan menggunakan aplikasi lain selain *Kenpave* seperti aplikasi CIRCLY untuk membandingkan aplikasi mana yang lebih akurat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dan mendukung dalam penelitian ini adalah:

- Kedua orang tua penulis, Bapak Abdul Ahmad dan Ibu Ana beserta seluruh keluarga besar.
- Bapak Purwo Mahardi, ST., M.Sc. selaku dosen pembimbing dalam penelitian ini.
- Seluruh Bapak dan Ibu dosen Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya serta teman-teman mahasiswa prodi S1 Teknik Sipil angkatan 2018 yang telah memberikan semangat dan bantuan selama proses perkuliahan.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik Kabupaten Tulungagung. Curah Hujan Menurut Kecamatan dan Bulan di Kabupaten Tulungagung. (<https://tulungagungkab.bps.go.id/statictable/2021/04/07/5134/curah-hujan-menurut-kecamatan-dan-bulan-di-kabupaten-tulungagung-2020.html>, diakses 11 Januari 2022).
- Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Timur. (2021). Jumlah Kendaraan Bermotor yang Didaftarkan Menurut Kabupaten/Kota dan Jenis Kendaraan di Provinsi Jawa Timur (unit) tahun 2018–2020. (<https://jatim.bps.go.id/statictable/2021/09/07/2253/jumlah-kendaraan-bermotor-yang-didaftarkan-menurut-kabupaten-kota-dan-jenis-kendaraan-di-provinsi-jawa-timur-unit-2018-2020.html>, diakses 15 maret 2022)
- Birasungi, Cynthia F., Waani, Joice E., dan Manoppo, Mecky R E. 2019. Evaluasi Struktur Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Bina Marga 2013 (Studi Kasus: Ruas Jalan Yos Sudarso Manado). *Jurnal Sipil Statik* 7(1): 137–46.
- Chegenizadeh, Amin., Keramatikerman, Mahdi., dan Hamid Nikraz. 2016. Flexible Pavement Modelling Using Kenlayer. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering* 21(7): 2467–79.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1987. *Petunjuk Perancangan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen*. Jakarta: Yayasan Badan Penerbit PU.
- Fadhlan, Khairi., dan Muis, Zulkarnain A. 2013. Evaluasi Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Metode Bina Marga Pt T-01-2002-B Dengan Menggunakan Program Kenpave. *J. Tek. Sipil*.
- Ghadimi, Behzad., Nikraz, Hamid., Leek, Colin., dan Nega, Ainalem. 2013. A Comparison between Austroads Pavement Structural Design and AASHTO Design in Flexible Pavement. *Advanced Materials Research* 723: 3–11.
- Huang, Y. H. 2004. *Pavement Analysis and Desain*. University of Kentucky. New Jersey, U.S.A: Prentice Hall.
- Kementrian Pekerjaan Umum Direktorat Bina Marga. 2017. *Manual Desain Perkerasan Jalan*. Nomor 04/SE/Db/2017
- Mantiri, Cynthia Claudia., Sendow, Theo K., dan Manoppo, Mecky R.E. 2019. Analisa Tebal Perkerasan Lentur Jalan Baru Dengan Metode Bina Marga 2017 Dibandingkan Metode Aashto 1993. *Jurnal Sipil Statik* 7(10): 1303–16.
- Nabillah, Jihan Alya., dan Radam, Iphan F. 2020. Pengaruh Beban Lalu Lintas Terhadap Kerusakan Perkerasan Jalan (Studi Kasus Segmen Jalan Banjarbaru – Bati-Bati. *Jurnal Kacapuri : Jurnal Keilmuan Teknik Sipil* 2(2): 1.
- Pattipeilohy, Jeckelin., Sapulette, W., dan Lewaherilla, N.M.Y. 2019. Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Pada Ruas Jalan Desa Waisarisa – Kaibobu. *Manumata Vol 5, No 2 (2019)* 5(2): 56–64.
- Rahmawati, Anita., Setiawan, Dian., Pangestu, Aby Yansun., dan Aulia, Robith Azkal. 2018. Evaluasi Tebal Dan Analisa Kerusakan Perkerasan Lentur Menggunakan Analisa Komponen, Austroads, Asphalt Institute Dan Program Kenvape. *Media Teknik Sipil* 16(2): 79–85.
- Ramadhani, Riska Intan. 2018. Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur Dengan Metode Bina Marga 2013 Dan Metode Mekanistik-Empirik Menggunakan Program Kenpave Pada Ruas Jalan Jogja–Solo.
- Ranadive, M. S., dan Tapase, Anand B. 2016. Parameter Sensitive Analysis of Flexible Pavement. *International Journal of Pavement Research and Technology* 9(6): 466–72.
- Setiawan M, Dian., Rahmawati, Anita., dan Setiawan, Iwan Bagus. 2018. Perbandingan Tebal Dan Analisis Kerusakan Perkerasan Lentur Menggunakan Program KENPAVE Dan Metode Asphalt Institute. *Semesta Teknika* 21(2): 106–13.
- Sukirman, S. 1999. *Perkerasan jalan Lentur Jalan Raya*. Bandung: Penerbit Nova.
- Tajudin, Annissa Noor., Setyarani, Ni Luh Shinta Eka., dan Alberik, Beryl. 2014. PENGARUH MODULUS PERKERASAN LENTUR DAN OVERLOADING TERHADAP KERUSAKAN ALUR DAN FATIK. *Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents*.
- Talani, Agus. 2017. Analisis Kerusakan Jalan Aspal Di Kota. *RADIAL: Jurnal Peradaban sains, rekayasa dan teknologi Sekolah Tinggi Teknik Bina Taruna Gorontalo* 6(2): 158–61.