



## EVALUASI STRUKTUR PERKERASAN LENTUR DENGAN METODE EMPIRIS DAN MEKANISTIK-EMPIRIS

Studi Kasus: Jalan Kubang Raya-Simpang Panam

Fahrurrozi<sup>a</sup>, Gunawan Wibisono<sup>b</sup>, Muhammad Yusa<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Mahasiswa Magister Teknik Sipil, Universitas Riau, Jl. HR. Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru.

<sup>b</sup>Dosen Magister Teknik Sipil, Universitas Riau, Jl. HR. Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru.

### INFO ARTIKEL

Diterima: 11 Juli 2020

### ABSTRAK

Tahapan evaluasi terhadap perkerasan lama sangat penting dilakukan untuk pengambilan keputusan rehabilitasi jalan, Metode empiris seperti AASHTO 93 menjadi rujukan yang cukup lama digunakan di Indonesia. diperlukan perbandingan kesesuaian desain empiris dengan mekanistik-empiris yang dapat memprediksi model kerusakan berdasar analisis pembebanan roda dan kualitas dari material. Penelitian ini bertujuan mengetahui kondisi perkerasan lama melalui repetisi beban gandar standar hingga mengalami retak lelah (*fatigue*) dan alur roda (*rutting*), mengetahui kebutuhan tebal lapisan *overlay* metode empiris (AASHTO 93) dan mekanistik-empiris (Program Komputer KENPAVE), dan pengaruh variasi *modulus resilient* tanah dasar terhadap respon struktur perkerasan. Jalan yang diteliti adalah ruas jalan Kubang Raya-Simpang-Panam STA + 0,001 s/d +0.403. Struktur perkerasan terdiri dari lapisan permukaan dengan ketebalan 10 cm yang dianalisis dengan permodelan *viscoelastic*, lapis pondasi atas 20 cm, pondasi bawah 30 cm yang diasumsikan sebagai lapisan tanah dasar dengan ketebalan di tinjau hingga kedalaman 1 m dari permukaan yang dianalisis dengan permodelan *non-linear elastic*. Penelitian dimulai dengan pengolahan data lendutan yang diperoleh dari penyelidikan lapangan dengan peralatan *Falling Weight Deflektometer* sebagai data primer dari P2JN Provinsi Riau, keluaran proses *backcalculation* dengan formula AASHTO 93 dan perangkat Lunak ELMOD berupa *modulus resilient* tanah dasar dan modulus elastisitas yang digunakan untuk analisis *overlay* kedua metode. Data lalu lintas ekuivalen beban gandar dianalisis dengan menggunakan metode AASHTO 93 dan digunakan untuk analisis kedua metode. Dari hasil analisis, didapati kondisi perkerasan eksisting sudah mengalami *fatigue* dan *rutting* pada kondisi jalan lama, kebutuhan lapis tambah perkerasan dengan Program Komputer KENPAVE sebesar 18 cm berbanding 17 cm dengan metode AASHTO 93. Semakin besar nilai modulus tanah dasar, semakin kecil lapis tambah dan regangan yang terjadi serta semakin besar nilai repetisi yang dicapai hingga mengalami kerusakan *fatigue* dan *rutting*.

**Kata kunci:** AASHTO 93; *Backcalculation*; KENPAVE; Mekanistik-Empiris; *Modulus Resilient*.

### E-MAIL

Penulis 1 [ocu\\_rozi@yahoo.co.id](mailto:ocu_rozi@yahoo.co.id)  
 Penulis 2 [g.wibisono@eng.unri.ac.id](mailto:g.wibisono@eng.unri.ac.id)  
 Penulis 3 [m.yusa@eng.unri.ac.id](mailto:m.yusa@eng.unri.ac.id)

### ABSTRACT

*The evaluation stage for the old pavement is very important for road rehabilitation decisions. Empirical methods such as AASHTO 93 have become a long-term reference used in Indonesia. it is necessary to compare the suitability of the empirical design with the mechanistic-empirical which can predict the damage model based on the analysis of the wheel loading and the quality of the material. This study aims to determine the condition of the old pavement through repetition of standard axle loads to experience fatigue cracks and rutting, determine the need for thick layers of overlay empirical methods (AASHTO 93) and mechanistic-empirical (KENPAVE Computer Program), and the influence of variations subgrade resilient modulus of pavement structure response. The road studied is the Kubang Raya-Simpang-Panam STA + 0.001 to +0.403 road section. The pavement structure consists of a surface*

---

*layer with a thickness of 10 cm which is analyzed by viscoelastic modeling, a top layer of foundation 20 cm, a foundation below 30 cm which is assumed to be a subgrade layer with a thickness reviewed to a depth of 1 m from the surface analyzed by modeling non-linear elastic . The study began with the processing of deflection data obtained from field investigations with Falling Weight Deflectometer equipment as primary data from P2JN Riau Province, backcalculation process output with AASHTO 93 formula and ELMOD software in the form of subgrade resilient modulus and elastic modulus used for overlay analysis of both methods . The axle load equivalent traffic data were analyzed using the AASHTO 93 method and used for the analysis of both methods. From the results of the analysis, it was found that the existing pavement conditions had experienced fatigue and rutting in the old road condition, the need for pavement added layers with the KENPAVE Computer Program was 18 cm compared to 17 cm with the AASHTO 93 method. The greater the value of subgrade modulus, the smaller the added layers and strain which occurs as well as the greater the value of repetition achieved to experience fatigue and rutting damage*

**Kata kunci:** AASHTO 93; Backcalculation; KENPAVE; Mechanistic-Empirical; Modulus Resilient

---

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Jalan Kubang Raya-Simpang Panam merupakan jalan Nasional yang menghubungkan perekonomian antar wilayah disekitar Provinsi Riau, sehingga kemantapan kondisi jalan ini sangat penting (Suriyatno, 2015). Menurut Departemen Pekerjaan Umum (2008), mayoritas jalan Nasional di Indonesia, termasuk Jalan Kubang Raya-Simpang Panam mengalami kerusakan yang parah (Samad, 2011).

Evaluasi terhadap kondisi struktur perkerasan lama menjadi tahapan penting dalam penentuan program pemeliharaan. Dalam waktu yang lama, Indonesia melakukan evaluasi dan perencanaan perkerasan dengan menggunakan metode empiris (AASHTO 93), dimana kondisi lalu lintas dan material relatif memiliki perbedaan dengan kondisi jalan di Indonesia saat ini (Samad, 2011).

Prediksi kerusakan akibat beban dan kualitas material dapat dilakukan dengan menggunakan metode mekanistik-empiris, dimana dengan pendekatan teoritis dan karakteristik material, respons struktur dapat diperhitungkan secara eksak terhadap beban sumbu kendaraan yang menghubungkan respons struktur dengan jenis kerusakan tertentu. Salah satu perangkat lunak yang dapat menganalisis perkerasan dengan metode mekanistik-empiris adalah KENPAVE yang menggunakan karakteristik material hingga beban roda kendaraan untuk mendapatkan tegangan, regangan dan lendutan.

Dengan kedua metode tersebut, dapat dilakukan perbandingan kondisi perkerasan lama, kebutuhan tebal lapis tambah (*overlay*) untuk mendukung beban rencana dalam masa perencanaan tertentu sehingga dapat dilakukan antisipasi terhadap kerusakan lanjutan terhadap perkerasan dan memantapkan metode desain mekanistik-empiris sebagai metode desain di Indonesia..

### B. Tujuan

1. Menilai kondisi struktur perkerasan lama jalan Kubang Raya-Simpang Panam berdasarkan metode mekanistik-empiris.
2. Membandingkan kebutuhan lapis tambah antara metode empiris dan mekanistik-empiris.
3. Mengetahui pengaruh variasi lapis tambah dan *modulus resilient* tanah dasar terhadap respons struktur perkerasan.

## II. MATERIAL DAN METODE

### A. Pengambilan dan Pengolahan Data

Pengumpulan data terdiri dari data primer dan data sekunder meliputi:

1. Data lendutan dari alat FWD dan tebal perkerasan lama.
2. Data kondisi temperatur pada saat pengujian dan curah hujan.
3. Lalu lintas harian rata-rata (LHR).

### B. Analisis Data

Analisa data menggunakan metode AASHTO 93 sebagai metode empiris dan Program Komputer KENPAVE sebagai metode Mekanistik-Empiris yang meliputi.

1. Analisis terhadap data lendutan untuk mendapatkan nilai modulus tanah dasar dan modulus perkerasan lama dengan persamaan AASHTO 93 dan program komputer ELMOD..
2. Analisis terhadap volume lalu lintas untuk menghitung beban ekuivalen dari sumbu tunggal pada umur rencana 10 tahun.
3. Analisis dan perhitungan kondisi structural number permulaan, regangan dan repetisi terhadap retak leleh dan alur roda serta perhitungan tebal perkerasan ke-dua metode.
4. Dalam penelitian ini, jumlah layer yang diteliti 2 lapis untuk kondisi eksisting dan 3 lapisan untuk overlay pada kedua metode, khusus untuk Program Komputer KENPAVE analisis material HMA sebagai viscoelastic dan material subgrade sebagai non-linear elastic. Pada material viscoelastic, untuk mendapatkan nilai creep compliance dengan temperatur digunakan nilai awal program KENPAVE sebesar 25°C, persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:  

$$D(t) = \frac{1}{E} (1 - e^{-0,833t}) \dots \dots \dots (1)$$

E : Modulus perkerasan lapisan permukaan  
t :Waktu pengamatan creep dengan 11 variasi, masing-masing adalah: 0,001. 0,003. 0,01. 0,03. 0,1. 0,3. 1. 3. 10. 30, dan 100 (FHWA, 2002). Untuk material granular, subgrade dianalisis sebagai non-linear elastic dengan beberapa konstanta koefisien tekanan awal tanah (K0) sebesar 0,8 (Yang H, 2004), konstanta material granular (K1) berkisar 3.200 - 8.000 Psi, dan konstanta exponent non-linear (K2) 0,6 sesuai dengan rekomendasi Rada dan Witczak (1981)

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Kumulatif Equivalent Single Axle Load (W18)

Data lalulintas kendaraan di jalan Kubang Raya-Simpang panam di ambil pada tahun 2016 oleh P2JN Provinsi Riau (Tabel 3.1)

**Tabel 1.** Nilai LHR Tahun 2016

No	Klasifikasi Kendaraan (Bina Marga)	LHR
Gol 2	Sedan, Jip	684
Gol 3	Mikrolet, Angkot, ELF	648
Gol 4	Pick-Up, Mobil Box	707
Gol 5A	Bus Kecil	286
Gol 5B	Bus Besar	124
Gol 6A	Truk 2 as (roda belakang 2)	269
Gol 6B	Truk 2 as (roda belakang 4)	132

Gol 7B	Truk 3 as	42
Gol 7B	Truk 4 as	4

Dari Manual Desain Perkerasan (MDP) 2017, didapatkan data pertumbuhan kendaraan pertahun pada jalan arteri dan perkotaan wilayah sumatera sebesar 8,83 %, perhitungan *Traffic Growth Factor* (TGF) pada tahun ke 10 (2026) adalah dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$(TGF) n = \frac{(1+g)^n - 1}{g} = \frac{(1+0.0483)^{10} - 1}{0.0483} = 12,47$$

Koefisien pengaliran (C) pada permukaan perkerasan sebesar 80%, lama curah hujan rata-rata harian (Tjam) adalah sebesar 3 jam/hari (Thessalonika, Yohanna Lilis Handayani, 2018), dari data curah hujan BMKG stasiun Sultan Syarif Kasim II, rata-rata hujan sebesar 194 mm. faktor air hujan yang masuk ke dalam fondasi sebesar 20 %, sehingga nilai koefisien drainase (m) di hitung dengan persamaan berikut:

$$P_{heff} = \frac{3}{24} \times \frac{194}{365} \times 20 \times 100 = 1,33 \% \dots (2)$$

Dari nilai  $P_{heff} >$  dari 1%, dengan asumsi genangan air akibat hujan dapat dialirkan dari permukaan jalan paling lambat 24 jam, didapati koefisien drainase (m) sebesar 1,2 %.

Koefisien lapisan menyatakan hubungan empiris antara *struktural number* (SN) yang menyatakan kemampuan relatif agar berfungsi sebagai suatu komponen perkerasan, nilai SN di hitung dengan persamaan

$$SN = a_1.D_1 + a_2.D_2.m_2 + a_3.D_3.m_3$$

sehingga nilai SN adalah sebesar 4.5 yang digunakan untuk menghitung faktor rusak kendaraan *Vehicle Damage Factor* (VDF) sebagaimana hasil rekapitulasi pada Tabel 3.2 berikut:

**Tabel 2.** Hasil Rekapitulasi Perhitungan VDF

No	Klasifikasi Kendaraan (Bina Marga)	W (Kips)	VDF
Gol 2	Sedan, Jip	4.41	0.0033
Gol 3	Mikrolet, Angkot, ELF	18,31	0.1416
Gol 4	Pick-Up, Mobil Box	18,31	0.0766
Gol 5A	Bus Kecil	18,31	0.0766
Gol 5B	Bus Besar	19,85	0.0368
Gol 6A	Truk 2 as (roda belakang 2)	55,15	2.6253
Gol 6B	Truk 2 as (roda belakang 4)	55.15	2.6928
Gol 7B	Truk 3 as	57.79	0.9750

Gol 7B	Truk 4 as	92.65	1.7913
Jumlah ESAL 2016 (VDF x LHR)		468.800.70	

Nilai DL digunakan 100% = 1 dan faktor distribusi (DD) 0,5. Perhitungan volume lalu lintas tahun ke 10 menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$ESAL_n : ESAL_{2016} \times R \times DD \times DL$$

$$ESAL_{10} : 468.800.70 \times 12,478 \times 0.5 \times 1$$

$$: 2.924.973,54$$

### C. Metode AASHTO 93

Nilai defleksi dari peralatan FWD digunakan sebagai dasar menghitung modulus dengan metode AASHTO 93 yang dapat dilihat pada Tabel 3.3:

**Tabel 1** Lendutan STA + 0,608 s/d +3.604

Geophone	Jarak (r) (inch)	Defleksi (d) (inch)
d1	0	0.0228
d2	7,87	0.0176
d3	11,811	0.0160
d4	17,72	0.0096
d5	23,622	0.0070
d6	35,433	0.0046
d7	47,244	0.0035
d8	59,055	0.0029
d9	70,866	0.0026

Dengan memperkirakan lendutan yang mendekati nilai  $0,7 > ae$  dengan menggunakan persamaan :

$$Mr (r) = \frac{0.24 \times P}{dr \times r}$$

Didapati nilai Mr dari hasil *backcalculation* sebesar 13,408.593 Psi pada geophone ke 4 sebesar 17,717 atau lebih besar 14,702 ( $07 > ae$ ). Untuk perhitungan modulus perkerasan, hasil perhitungan balik dengan menggunakan nilai TAF seperti pada Tabel 4.4.

**Tabel 2** Nilai *Temperature Adjustment Factor* (TAF)

Station	Asphalt		T. Asp Inchi	TAF
	C°	F°		
0.001 - 0.403	34.600	94.280	3.937	0.670

Untuk tegangan yang dihasilkan dari tumbukan beban FWD yang tercatat pada pengujian adalah sebesar 86,873 Psi, jari-jari pelat beban (a) sebesar 5,9055 inch. Dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$d_0 = 1.5 \times p \times a \times \left( \frac{1}{Mr \times \sqrt{1 + \left( \frac{D^3}{a} \sqrt{\frac{E_p}{Mr}} \right)^2}} + \frac{1}{\sqrt{1 + \left( \frac{D^3}{a} \right)^2}} \right) \frac{1}{E_p}$$

didapati nilai modulus perkerasan sebesar 635,656.7 psi. Dengan data-data tersebut didapati nilai perkerasan yang diperlukan pada perencanaan penambahan lapisan permukaan (*Overlay*) sebagaimana Tabel 3.5 berikut.

**Tabel 3** Rekapitulasi perhitungan lapis tambah

S <sub>Neff</sub> cm	Z <sub>r</sub>	S <sub>o</sub>	I <sub>P0</sub>	I <sub>pt</sub>	I <sub>pf</sub>	S <sub>Nf</sub> cm	D <sub>ol</sub> Cm
3,87	-1.645	0.45	4.2	2.5	1.5	10,67	17,01

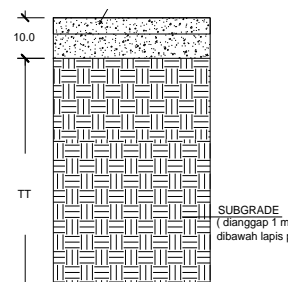
### D. Program Komputer KENPAVE

Konfigurasi beban pada analisis ini memiliki akibat yang sangat signifikan terhadap distribusi tegangan dan lendutan, untuk simplifikasi pada penelitian ini beban gandar menggunakan ESAL sebagaimana desain pada AASHTO 93. Informasi beban roda pada desain ini meliputi tekanan roda (CP), jarak antar roda ganda (YW) serta jari-jari bidang kontak, nilai masing-masing informasi pembeban terlihat pada Tabel 3.6 .berikut:

**Tabel 4** Informasi pembebanan

CR	CP	YW	NPT
10.74 cm	550 kpa	35 cm	3

Pada analisis KENPAVE, untuk struktur perkerasan lama, *modulus resilient*, modulus elastisitas, tebal perkerasan , *Poisson ratio* masing-masing terlihat pada Gambar 3.1 berikut:



H-asf : 10 cm  
 Mr : 79.516,571 Kpa  
 E<sub>p</sub> : 8.557.669,434 Kpa  
 μ : 0,35 dan 0,45

**Gambar 1.** Struktur perkerasan yang akan dianalisis

Dari hasil anailis, regangan vertikal, horizontal dan nilai repetisi yang didapatkan untuk perkerasan eksisting dapat terlihat pada Tabel 3.7 berikut:

**Tabel 5** Nilai regangan hasil analisis

No	Vertical strain (rutting)	Horizontal strain (Fatigue)
1	0.002161	0.0009657
2	0.001234	0.0006095
3	0.0003724	0.0003629
MAX	0.002161	0.0009657

Dari regangan diatas, nilai repetisi untuk kondisi kerusakan *fatigue* sebesar 800,88 ESAL, dan kerusakan *rutting* sebesar 972,57 ESAL. atau jauh lebih kecil dari desain lalulintas yang direncanakan sebesar 2.924.973,54 ESAL.

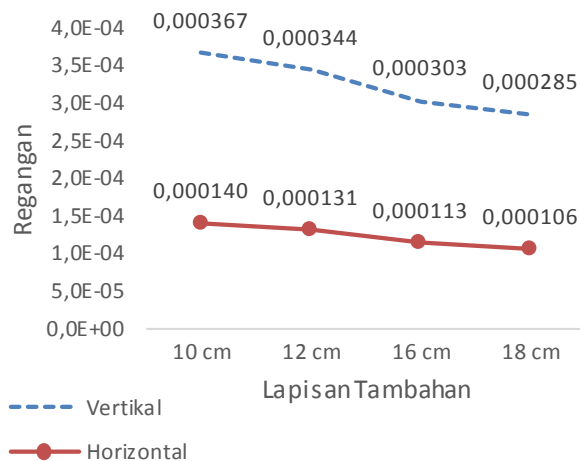
Untuk mencapai nilai repetisi yang mampu menahan *fatigue* dan *rutting* sesuai dengan perencanaan, dilakukan penambahan lapis perkerasan / *overlay* dengan cara coba-coba. Adapun modulus lapis perkerasan sebesar 2.758.000,00 (Departemen Pekerjaan Umum 2008), hasil asumsi penambahan lapis perkerasan, regangan dan angka repetisi terlihat pada Tabel 3.8 berikut.

**Tabel 6** Variasi penambahan tebal perkerasan

	Percobaan tebal (Overlay)			
	10.00 cm	12.00 cm	16.00 cm	18.00 cm
	Reg (cm) / ESAL	Reg(cm) / ESAL	Reg (cm) / ESAL	Reg (cm) / ESAL
Ver	0.000367 2,58 10 <sup>6</sup>	0.000344 3,43 10 <sup>6</sup>	0.000303 6,04 10 <sup>6</sup>	0.000285 7,95 10 <sup>6</sup>
Hor	0.000140 1,21 10 <sup>6</sup>	0.000131 1,52 10 <sup>6</sup>	0.000113 2,43 10 <sup>6</sup>	0.000106 3,05 10 <sup>6</sup>

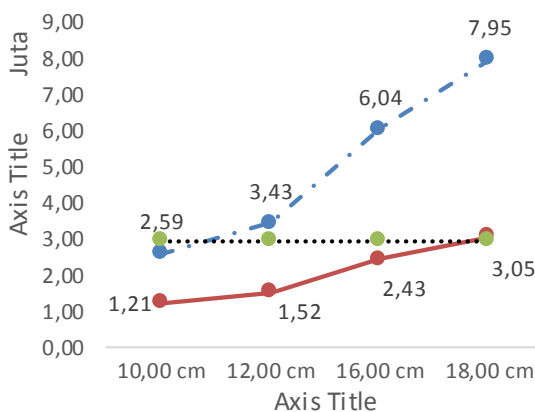
Hasil analisis di atas, menunjukkan bahwa tebal perkerasan yang diperlukan untuk mencapai nilai repetisi yang mampu menahan *fatigue* dan *rutting* adalah sebesar 18 cm.

Dari analisis di atas, dapat juga dilihat bahwa semakin besar penambahan lapisan permukaan perkerasan makin kecil nilai regangan vertikal dan horizontal yang dihasilkan seperti pada Gambar 3.2 berikut:



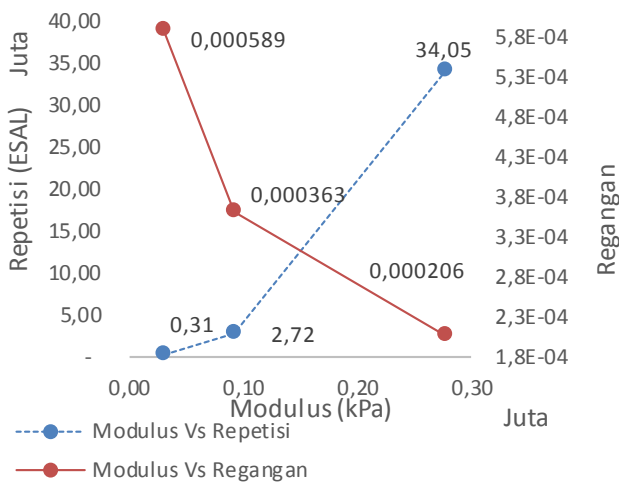
**Gambar 1** Pengaruh ketebalan terhadap regangan

Dengan makin tebalnya lapisan perkerasan, menyebabkan repetisi yang mampu dicapai hingga mengalami *fatigue* dan *rutting* semakin besar, dengan tebal perkerasan untuk mengantisipasi kondisi *rutting* lebih cepat di capai dibanding repetisi yang menyebabkan kondisi *fatigue*, sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut:



**Gambar 2** Pengaruh *Overlay* Terhadap Repetisi.

Dari Gambar 4.4 didapati bahwa, semakin besar modulus resilient akan semakin kecil nilai regangan yang dihasilkan, dan angka repetisi semakin besar, bila modulus resilient diperbesar dalam bentuk perbaikan tanah dasar, maka tebal perkerasan lapis tambah dapat diperkecil sehingga efisiensi dapat dicapai.



**Gambar 3** Pengaruh Modulus Resilient tanah dasar terhadap Regangan dan Repetisi

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data dan pembahasan terhadap struktur perkerasan lentur, dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. Dari analisis metode mekanistik-empiris, kondisi struktur perkerasan jalan Kubang Raya-Simpang Panam telah terjadi *fatigue* dan *rutting*.
2. Dari analisa didapat bahwa dengan metode Empiris (AASHTO 93), tebal *overlay* yang didapat sebesar 17 cm, sedangkan dengan Metode Mekanistik-Empiris sebesar 18 cm.
3. Untuk desain lapis tambah perkerasan, repetisi yang akan menimbulkan kerusakan *fatigue* dan *rutting* sebesar 3.048.3338 ESAL dan 7.951.289,37 ESAL. atau cukup diatas nilai ESAL rencana sebesar 2.924.973.53. Dalam analisis ini, jalan Kubang Raya-Simpang Panam tidak akan mengalami *fatigue* dan *rutting*.
4. Untuk memperkecil tebal lapisan perkerasan, perbaikan tanah dasar mutlak dilakukan, karena terlihat bahwa semakin besar nilai modulus resilient tanah dasar, respon regangan pada struktur mengecil, tebal lapisan berkurang dan repetisi hingga mengalami kerusakan semakin besar.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih kami sampaikan kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam penelitian ini adalah :

1. Kepada kedua orang tua penulis, Bapak Ridwan dan Ibu Sumarni serta Keluarga Besar Arrazy.
2. Bapak Dr. Gunawan Wibisono, M.Sc dan Bapak Dr. Muhammad Yusa, M.Sc selaku pembimbing penelitian. Serta

3. Seluruh Bapak dan Ibu dosen serta teman-teman mahasiswa Magister Teknik Sipil Angkatan 2016 ganjil, yang telah bersama-sama membantu dalam proses perkuliahan dan penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] AASHTO, "Aastho Guide for Desing of Pavement Structures." 1993.
- [2] A. Haris, F. Aji, E. S. Hariyadi, and W. Weningtyas, "Evaluasi Struktural Perkerasan Lentur Menggunakan Metode AASHTO 1993 dan Metode Bina Marga 2013 Studi Kasus: Jalan Nasional Losari - Cirebon," *Tek. Sipil*, 2015.
- [3] B. K. Carolina Aprilia Heliyati, "Perbandingan Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Dengan Metode Empirik dan Mekanistik-EMpirik pada Ruas Jalan Mlati-Cebongan-Seyegan," 2016, no. October, pp. 11–13.
- [4] C. Samad, "Sensitivity Analysis In Flexible Pavement Performance Using Mechanistic Empirical Methode (Case Study: Cirebon-Losari Road Segment, West Java)," vol. XX, no. September, 2011.
- [5] D. B. Pd T-05-2005-B, "Pedoman Perencanaan Tebal Lapis Tambah Perkerasan Lentur Dengan Metode Lendutan." 2005.
- [6] D. Kosasih, "Analisis data lendutan perkerasan dengan program backcalc untuk sistem struktur 2 - lapis," 2003.
- [7] H. Yang H, "Pavement-Analysis-and-Design-Second-Edition-2004." 2004.
- [8] K. Pekerjaan, dan P. Rakyat, D. Jenderal, and B. Marga, "Manual Desain Perkerasan 2017," 2017.
- [9] M. F. Thessalonika, Yohanna Lilis Handayani, "Bentuk Distribusi Hujan Jam-Jaman Kabupaten Kampar Berdasarkan Data Satelit," *Bentuk Distrib. Hujan Jam-Jaman Kabupaten Kampar Berdasarkan Data Satelit*, no. 1, pp. 1–8, 2018.
- [10] S. Hardwiyono, "Penghitungan Tebal Setara Metode Boussinesq-Exel dan FWD-ELMOD pada Perkerasan Lentur," 2012.
- [11] Suriyatno, "Analisis Tebal Lapis Tambah dan Umur Sisa Perkerasan Akibat Beban Berlebih Kendaraan (Studi Kasus Ruas Jalan Nasional Di Provinsi Sumatera Barat)," in *Annual Civil Engineering Seminar 2015*, 2015.
- [12] S. Sukirman, *Perencanaan Tebal Struktur Perkerasan Lentur*. 2010.