

# Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur Menggunakan Program *Kenpave* di Jalan Maospati – Sukomoro

*Evaluation of the Flexible Pavement Thickness Using Kenpave Program in Maospati- Sukomoro Road*

**Iwan Bagus Setiawan, Anita Rahmawati, Dian Setiawan M**

*Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta*

**Abstrak.** Metode mekanistik-empirik merupakan salah satu metode yang digunakan dalam perancangan tebal perkerasan jalan. Jalan Maospati-Sukomoro merupakan akses utama menuju Kota Magetan yang dilalui oleh lalu lintas kendaraan berat. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk merancang tebal perkerasan dan nilai kemampuan jalan dalam mengalami retak leleh dan retak alur. Metode empiris yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode Bina Marga 1987 dan AASHTO 1993 yang kemudian dilakukan analisis menggunakan metode mekanistik yaitu program *Kenpave*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode Bina Marga 1987 menghasilkan nilai  $N_d$  sebesar  $7,52 \times 10^5$  dan  $N_f$   $5,77 \times 10^{12}$  sedangkan metode AASHTO 1993 menghasilkan nilai  $N_d$  sebesar  $2,12 \times 10^9$  dan  $N_f$  sebesar  $1,42 \times 10^{11}$ . Nilai yang diperoleh menunjukkan bahwa tebal perkerasan yang dirancang tidak mampu melayani beban lalu lintas yang direncanakan dan akan mengalami kerusakan jika tidak segera dilakukan upaya perawatan berkala. Sedangkan tebal perkerasan yang dirancang dengan metode AASHTO 1993 mampu melayani lalu lintas yang direncanakan.

Kata kunci: Analisis kerusakan, perkerasan lentur, program *Kenpave*, tebal perkerasan

**Abstract.** The mechanistic-empirical method is one of the techniques used in the design of pavement thickness. Maospati-Sukomoro Road is the primary access to Magetan City which is traversed by heavy vehicle traffic. This study was conducted with the aim to design the pavement thickness and to analyse the pavement performance against fatigue cracking and rutting. Bina Marga 1987 and AASHTO 1993 were used as the empirical method in this research. The results then analysed with *Kenpave* program as the mechanistic method. The calculations showed that the Bina Marga 1987 produce  $N_d$  value of  $7.52 \times 10^5$  and  $N_f$  value of  $5.77 \times 10^{12}$  whereas the AASHTO 1993 produce  $N_d$  value of  $2.12 \times 10^9$  and  $N_f$  value of  $1.42 \times 10^{11}$ . The result shows that the designed pavement thickness is not capable of serving the planned traffic load and will be damaged if there is no immediate maintenance work. While the AASHTO 1993 method is able to serve the planned traffic load.

Keywords : Flexible pavement, *Kenpave* program, pavement thickness, rutting analysis

## 1. Pendahuluan

Jalan merupakan sarana infrastruktur penting dalam sebuah daerah. Daerah yang ditunjang dengan infrastruktur jalan baik dapat membantu meningkatkan perekonomian. Perlu perencanaan jalan yang matang demi tercapainya tingkat pelayanan, kenyamanan, dan keamanan pengguna jalan. Berkurangnya waktu dan biaya perjalanan serta peningkatan keselamatan merupakan hasil akhir dari sistem jalan yang dirancang dengan baik (Gupta dkk., 2015).

Perkerasan adalah kerak yang relatif stabil yang dibangun diatas tanah alami dengan tujuan untuk mendukung dan

mendistribusikan beban kendaraan dan menyediakan lapis aus yang menyukupi (Ramyashree, 2016). Tujuan utama dalam mendesain sebuah perkerasan adalah meliputi pemilihan bahan penyusun dan memastikan ketebalan masing-masing lapisan telah sesuai guna memastikan bahwa lapisan perkerasan mampu melindungi tanah dasar dari beban kendaraan (Zakaria dkk., 2014).

Metode yang biasa digunakan dalam merencanakan perkerasan adalah metode mekanis dan empiris. Model mekanis didasarkan pada fisika dasar dan menentukan reaksi perkerasan terhadap beban roda dalam hal tegangan, regangan dan perpindahan, sedangkan model empiris dari desain

menggunakan respon perkerasan untuk meramalkan umur perkerasan berdasarkan kinerja perkerasan (Khavandi dan Ameri, 2009). Pendekatan berkelanjutan dan rasional dengan metode mekanis empiris dapat memberikan solusi yang lebih baik, akurat dan lebih rasional untuk desain jalan (Gupta dkk., 2015).

Penelitian ini membahas cara merancang tebal perkerasan jalan dengan metode Bina Marga 1987 dan AASHTO 1993 yang selanjutnya akan dilakukan analisis kerusakan menggunakan program *Kenpave*. Dengan demikian, dapat diketahui tebal perkerasan rencana dan nilai kemampuan jalan dalam mengalami *fatigue cracking* dan *rutting*.

## 2. Perkerasan Lentur

Menurut Aminsyah (2010) perkerasan lentur terdiri dari agregat sebagai material dan aspal sebagai pengikat baik dengan atau tanpa bahan tambah. Material pembentuk aspal dicampur pada suhu yang telah ditentukan sebagaimana sesuai dengan jenis aspal yang digunakan. Pada umumnya komponen penyusun suatu perkerasan terdiri dari lapis permukaan, lapis pondasi atas dan lapis pondasi bawah. Lestari (2013) memberikan fungsi dari setiap lapisan tersebut yaitu :

- a. Lapis permukaan, berfungsi sebagai bahan perkerasan dalam menahan beban roda kendaraan, pelindung badan jalan dari kerusakan akibat cuaca dan sebagai lapis aus.
- b. Lapis pondasi atas, sebagai bagian perkerasan yang mendukung lapis permukaan dan menyebarkan tegangan yang terjadi ke lapis pondasi bawah untuk selanjutnya disalurkan ke tanah dasar.
- c. Lapis pondasi bawah, sebagai pendukung perkerasan dalam menyebarkan beban roda kendaraan dan mencegah tanah dasar masuk ke lapisan pondasi.

## 3. Metode Bina Marga 1987

Metode bina marga dalam perkembangannya lebih dikenal dengan sebutan metode analisa komponen. Metode ini merupakan modifikasi dari AASHTO 1972 revisi 1981. Hal yang perlu diperhatikan dalam

merancang tebal perkerasan ini adalah sebagai berikut :

- a. Lalu lintas, meliputi jumlah jalur serta koefisien distribusi kendaraan, angka ekivalen, lalu lintas harian rata-rata.
- b. Daya dukung tanah dasar dan CBR.
- c. Faktor Regional, merupakan keadaan lapangan yang meliputi permeabilitas tanah, drainase, bentuk alinyemen dan presentase kendaraan berat, serta iklim.
- d. Indeks permukaan, nilai dari tingkat pelayanan lalu lintas meliputi kerataan/kehalusan dan kekokohan permukaan jalan.
- e. Koefisien kekuatan relatif.
- f. Indeks tebal perkerasan, untuk mencari nilainya diperlukan plotting dari nilai yang telah ditentukan.

## 4. Metode AASHTO 1993

Metode AASHTO pertama kali dikenal pada tahun 1972, metode ini pada awalnya adalah sebuah penelitian berkelanjutan yang dibiayai oleh pemerintah federal (AASHTO, 1993). Metode ini pada dasarnya merupakan perhitungan dengan metode empiris. Metode AASHTO merupakan metode perancangan tebal perkerasan yang berkembang di Amerika Serikat. Untuk merancang tebal perkerasan menggunakan metode AASHTO terdapat parameter diantaranya :

- a. *Structural Number (SN)*, merupakan fungsi dari koefisien relatif lapisan serta fungsi dari koefisien drainase.
- b. Lalu lintas, pedoman yang digunakan adalah lalu lintas kumulatif selama umur rencana berlangsung. Nilai tersebut diperoleh dengan mengalikan kumulatif beban gandar standar selama satu tahun ( $W_{18}$ ) dengan pertimbangan parameter volume lalu lintas, umur rencana, serta pertumbuhan lalu lintas.
- c. *Reliability*, merupakan tingkat probabilitas keberhasilan dari perkerasan dalam memenuhi fungsi sesuai yang diinginkan. Salah satu fungsi yang dimaksud yakni menyediakan layanan tertentu berupa kinerja (Alsherri dan George, 1988).

- d. *Serviceability*, merupakan tingkat kenyamanan pengguna jalan yang dirasakan selama melalui jalan tersebut.
- e. Faktor lingkungan.

## 5. Program *Kenpave*

Analisis *Kenpave* merupakan perangkat lunak yang menggabungkan perkakas fleksibel *kenolf* dan perkerasan kaku *ken slab*, memungkinkan pengguna elastis linier, nonlinier dan sifat viskoelastik bahan untuk lapisan yang berbeda (Loulizi dkk., 2006). Sebelum *Kenpave* dibuat, terdapat empat program grafis secara terpisah yakni *Layerinp*, *Kenlayer*, *Slabsinp*, *Ken slab*. Bersama program grafis lainnya keempat program tersebut di kombinasikan dengan program *Kenpave*. *Kenpave* ditulis dalam bentuk *visual basic* yang dapat dijalankan pada perangkat lunak *windows95* atau di atasnya (Huang, 2004).

## 6. Analisis Kerusakan

Pada umumnya kerusakan suatu perkerasan disebabkan oleh beban berlebih kendaraan dan pengaruh cuaca. Jenis analisis kerusakan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah retak alur (*rutting*) dan retak lelah (*fatigue cracking*). Dalam penelitian ini digunakan persamaan dari metode *Asphalt Institute* untuk mengetahui jumlah repetisi beban dari *rutting* dan *fatigue cracking*.

- a. Retak alur (*rutting*), terjadi akibat deformasi permanen baik pada lapisan beraspal, lapis pondasi dan lapisan tanah dasar (*subgrade*) dibawah aksi beban roda lalu lintas yang berulang (Al Khatteb, dkk., 2011). Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$N_d = 1,365 \times 10^{-9} \times \epsilon_c^{-4,477} \quad (1)$$

Dimana :

- $N_d$  = nilai repetisi beban rutting
- $\epsilon_c$  = regangan tekan vertikal pada bagian atas lapisan tanah dasar.

- b. Retak Lelah (*fatigue cracking*), merupakan hubungan dari serangkaian retakan yang menimbulkan potongan-potongan kecil

tidak beraturan yang terjadi akibat pembebanan ulang secara terus menerus (Adlinge & Gupta, 2013). Persamaan yang diberikan oleh *The Asphalt Institute* untuk mengetahui jumlah repetisi beban berdasarkan regangan tarik di bawah lapisan permukaan adalah sebagai berikut :

$$N_f = 0,0796 \times \epsilon_t^{-3,291} \times E_{AC}^{-0,854} \quad (2)$$

Dimana :

- $N_f$  = nilai repetisi beban retak lelah
- $\epsilon_t$  = regangan tarik pada bagian bawah lapis permukaan
- $E_{AC}$  = modulus elastisitas lapis permukaan

## 7. Metode Penelitian

### *Tahapan penelitian*

Adapun tahapan dalam penelitian ini akan ditampilkan pada Gambar 1.

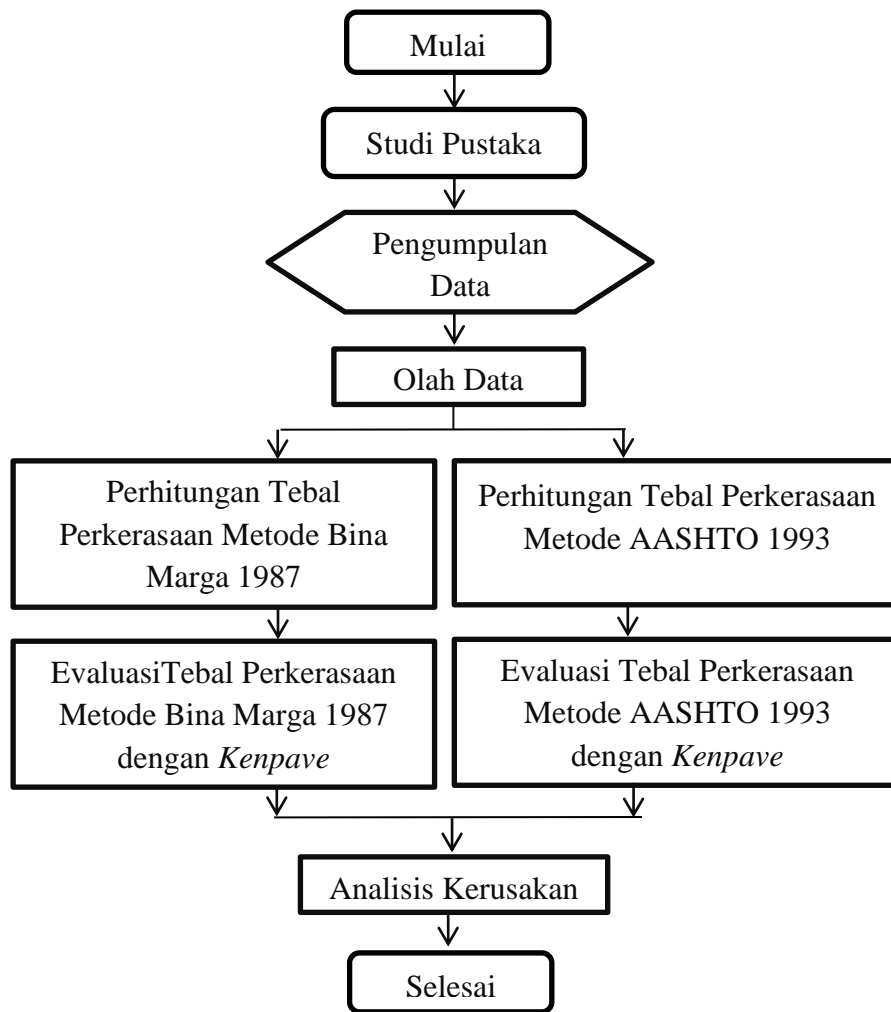
### *Lokasi Penelitian*

Penelitian dilakukan pada Proyek Pembangunan Jalan "*Twin Road*" Maospati-Sukomoro, Kabupaten Magetan, Jawa Timur. Proyek ini terbentang sejauh 7,3 km. Lokasi penelitian akan ditampilkan pada Gambar 2.

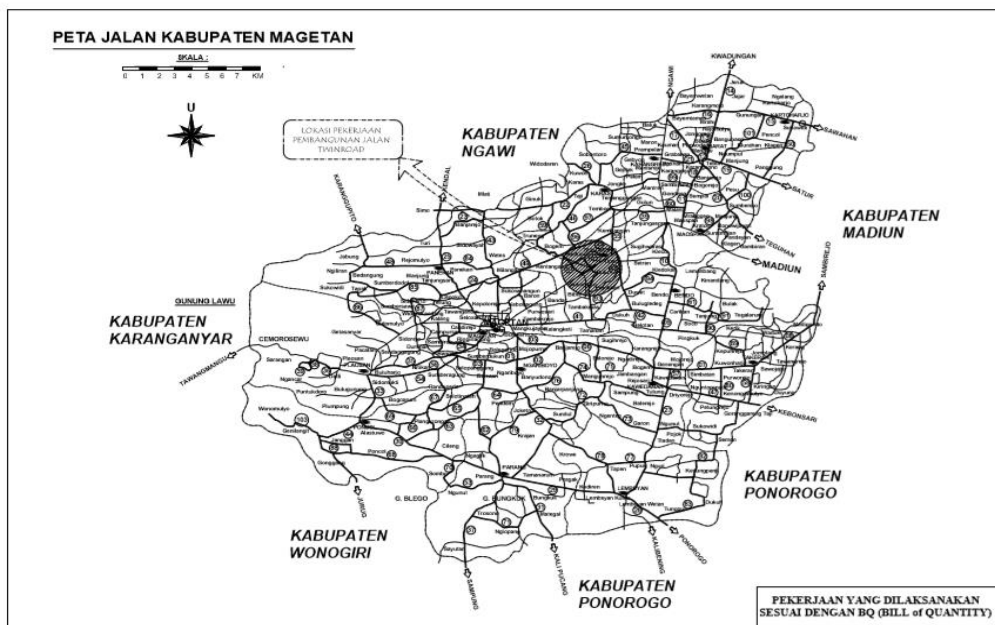
### *Jenis Data*

Data yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan data sekunder dari Dinas Pekerjaan Umum Kabupaten Magetan. Data primer yang dilakukan merupakan hasil pengamatan langsung dilapangan yang disebabkan kurang akuratnya data dari instansi yang bersangkutan. Adapun data yang dibutuhkan dalam penelitian ini antarlain :

- a. Lalu lintas harian rata-rata (LHR)
  - Data LHR dalam penelitian ini diperoleh berdasarkan data primer yang dilakukan dengan pengamatan dilapangan (survei). Survei lalu lintas dilakukan pada jalan raya Maospati dengan durasi survei 12 jam per hari selama 3 hari.
- b. Angka pertumbuhan lalu lintas (i)
  - Angka pertumbuhan lalu lintas diperoleh dari dokumen proyek Dinas Pekerjaan Umum Kabupaten Magetan sebesar 5,9 %.



Gambar 1 Bagan alir tahapan penelitian



Sumber : Dokumen proyek pembangunan jalan “Twin Road” Magetan 2016

Gambar 2 Peta lokasi penelitian

c. Nilai CBR tanah

Nilai CBR tanah diperoleh dari dokumen proyek Dinas Pekerjaan Umum Kabupaten Magetan yaitu sebesar 6 %.

d. Curah Hujan

Berdasarkan dokumen proyek yang diberikan oleh Dinas Pekerjaan Umum Kabupaten Magetan data curah hujan yang digunakan merupakan data dari stasiun hujan jejeruk dan tinap dengan rata-rata sebesar 115 mm/th.

untuk menghitung tebal perkerasan yang disajikan pada Tabel 2 dengan tebal perkerasan yang akan ditampilkan pada Gambar 3.

**Evaluasi Menggunakan Program Kenpave**

Evaluasi dilakukan berdasarkan data tebal perkerasan yang telah di rencanakan. Selanjutnya dilakukan input pada program *Kenpave*. Nilai repetisi beban dari *output* program akan ditampilkan pada Tabel 3.

**8. Hasil dan Pembahasan**

**Metode Bina Marga 1987**

Berdasarkan data yang diperoleh maka dilakukan perhitungan tebal perkerasan dengan parameter hasil yang akan dtampilkan pada Tabel 1. Hasil tebal perkerasan akan disajikan pada Gambar3.

**Metode AASHTO 1993**

Berdasarkan parameter yang diberikan oleh AASHTO maka, diperoleh hasil data

**Analisis Kerusakan**

Hasil pada Tabel 3 selanjutnya dilakukan analisis menggunakan Persamaan 1 dan 2 untuk mencari nilai  $N_d$  dan  $N_f$ . Nilai yang diperlukan dari hasil program *Kenpave* adalah *horizontal principal strain* dan nilai *vertical strain*. Hasil perhitungan nilai  $N_d$  dan  $N_f$  serta analisis beban lalu lintas pada masing-masing metode akan ditampilkan pada Tabel 4 dan 5.

Tabel 1 Parameter Data Metode Bina Marga 1987

Parameter	Keterangan
Umur rencana	20 tahun
Pertumbuhan lalu lintas	5,9 %
Tipe jalan	4 lajur 2 arah
Daya dukung tanah dasar	5
Lintas ekivalen rencana	580,028
Faktor Regional	1

Tabel 2 Parameter Data Metode AASHTO 1993

Parameter	Keterangan
<i>Reability</i>	90 %
Standar deviasi keseluruhan (So)	0,45
$W_{18}$	1.425.596,920
Modulus Resilien	$E_{SG} = 9000$ Psi
	$E_{SB} = 18566,2$ Psi
	$E_{BS} = 33581,8$ Psi
Indeks pelayanan	2,2

Tabel 3 Hasil nilai repetisi beban

Tinjauan	Nilai Regangan ( $\epsilon$ )	
	Bina Marga 1987	AASHTO 1993
Regangan tarik di bawah lapis permukaan ( $\epsilon_t$ )	$2,38 \times 10^{-6}$	$7,34 \times 10^{-6}$
Regangan tekan di bawah lapis pondasi bawah ( $\epsilon_c$ )	$5,09 \times 10^{-4}$	$8,64 \times 10^{-5}$

### Perbandingan Hasil

Hasil analisis perhitungan pada Gambar 3 menunjukkan bahwa tebal perkerasan dengan Metode AASHTO 1993 diperoleh tebal lapis permukaan yang lebih tebal dibandingkan dengan tebal lapis permukaan pada Metode Bina Marga 1987. Hal tersebut disebabkan karena Metode AASHTO 1993 analisis yang dilakukan cenderung berada pada lapis permukaan saja. Hal ini sesuai dengan penelitian yang pernah dilakukan (Ferdian, 2008).

Perbedaan tebal perkerasan yang dihasilkan antara kedua metode dipengaruhi oleh perbedaan parameter antara keduanya. Pada metode AASHTO 1993 dalam

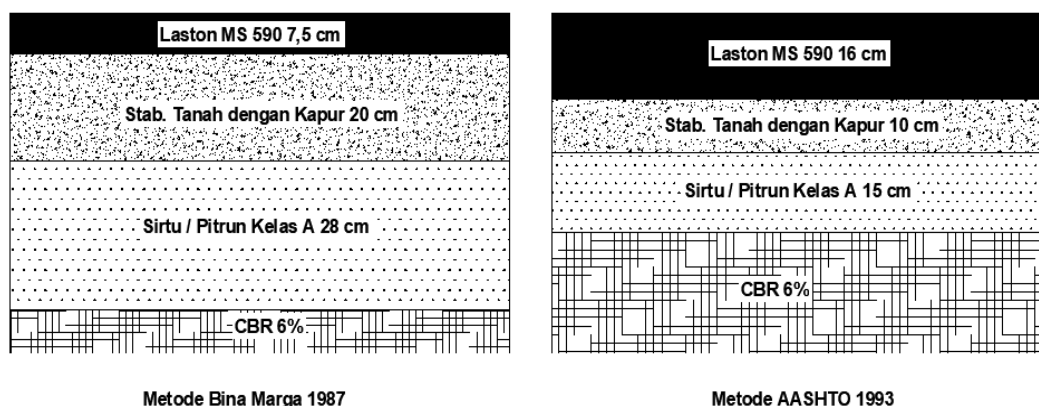
menentukan daya dukung tanah diwakili atas nilai *Modulus Resilient* ( $M_R$ ) sementara itu pada metode Bina Marga 1987 parameter daya dukung tanah didasarkan atas nilai CBR (%) yang mewakili. Selain pada parameter tanah, parameter yang berbeda adalah pada metode Bina Marga 1987 dalam menentukan tebal perkerasan dipengaruhi oleh nilai Faktor Regional (FR) sedangkan dalam metode AASHTO 1993 tidak dipengaruhi nilai FR namun dipengaruhi oleh nilai koefisien drainase. Nilai FR sendiri didasarkan atas kondisi curah hujan, kelandaian serta jumlah persentase kendaraan berat yang melintas.

Tabel 4 Hasil Analisa nilai  $N_f$  dan  $N_d$  Metode *Asphalt Institute*

Tinjauan	Nilai Regangan ( $\epsilon$ )		Analisis Kerusakan	
	Bina Marga 1987	AASHTO 1993	Bina Marga 1987	AASHTO 1993
Regangan horizontal dibawah lapis permukaan ( $\epsilon_t$ )	$2,38 \times 10^{-6}$	$7,34 \times 10^{-6}$	$N_f = 5,77 \times 10^{12}$	$N_f = 1,42 \times 10^{11}$
Regangan tekan vertikal dibawah lapis pondasi bawah ( $\epsilon_c$ )	$5,09 \times 10^{-4}$	$8,64 \times 10^{-5}$	$N_d = 7,52 \times 10^5$	$N_d = 2,12 \times 10^9$

Tabel 5 Hasil Analisa Beban Lalu Lintas

Metode	Beban Lalu Lintas Rencana	Repetisi Beban		Analisis Beban
		$N_f$	$N_d$	
Bina Marga 1987	$1,42 \times 10^6$	$5,77 \times 10^{12}$	$7,52 \times 10^5$	Nf Memenuhi, Nd Tidak
AASHTO 1993	$1,42 \times 10^6$	$1,42 \times 10^{11}$	$2,12 \times 10^9$	Nf dan Nd Memenuhi



Gambar 3 Susunan tebal perkerasan metode bina marga 1987 dan AASHTO 1993

Pada Tabel 5 hasil analisa beban menunjukkan bahwa pada metode Bina Marga 1987 hanya nilai  $N_f$  yang memenuhi jumlah beban lalu lintas rencana yang dibutuhkan. Nilai  $N_f$  menunjukkan bahwa nilai  $5,77 \times 10^{12}$  merupakan nilai regangan tarik maksimal dibawah lapis permukaan pada Jalan Maospati-Sukomor. Sedangkan nilai  $7,52 \times 10^5$  merupakan nilai regangan tekan maksimal dibawah lapis pondasi bawah. Hal tersebut berarti tebal perkerasan desain tidak mampu menahan beban lalu lintas yang telah direncanakan. Hal itu sesuai dengan penelitian yang pernah dilakukan oleh (Simanjutak, 2014) dan (Dinata, 2017).

Hasil berbeda didapat pada analisa dengan metode AASHTO 1993 dimana nilai  $N_f$   $1,42 \times 10^{11}$  dan nilai  $N_d$   $2,12 \times 10^9$  dianggap memenuhi jumlah beban lalu lintas rencana sebesar  $1,42 \times 10^6$ . Jumlah repetisi beban yang dihasilkan lebih besar dari beban lalu lintas yang direncanakan. Hal tersebut mengindikasikan bahwa tebal perkerasan rencana mampu menerima sepenuhnya beban lalu lintas rencana, namun hasil repetisi beban masih terpaut jauh dari hasil yang direncanakan. Perlu analisis lebih mendalam terhadap tebal perkerasan dan pemilihan bahan agar menghasilkan perkerasan jalan yang baik, akurat, dan efisien.

## 9. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian adapun kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut :

- a. Diperoleh nilai tebal perkerasan pada jalan Maospati-Sukomoro dengan menggunakan Metode Bina Marga 1987 sebesar 7,5 cm untuk lapis permukaan, 20 cm untuk lapis pondasi atas, serta 28 cm pada lapis pondasi bawah. Sedangkan hasil perhitungan tebal perkerasan menggunakan Metode AASHTO 1993 adalah 16 cm untuk lapis permukaan, 10 cm untuk lapis pondasi atas dan 15 cm untuk lapis pondasi bawah. Diperoleh hasil perhitungan nilai repetisi beban berdasarkan program *Kenpave*  $N_f$   $5,77 \times 10^{12}$  dan nilai  $N_d$   $7,52 \times 10^5$  pada metode Bina Marga 1987. Sedangkan nilai repetisi beban pada metode AASHTO 1993

diperoleh  $N_f$   $1,42 \times 10^{11}$  dan  $N_d$   $2,12 \times 10^9$ .

- b. Hasil analisis menunjukkan bahwa metode Bina Marga 1987 mampu memenuhi repetisi beban *fatigue cracking* namun tidak mampu menerima jumlah repetisi beban *rutting*. Sedangkan metode AASHTO 1993 mampu memenuhi keduanya serta beban lalu lintas yang direncanakan.

## 10. Daftar Pustaka

- AASHTO, 1993. *Guide for Design of Pavement Structures*, Washington DC, American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Adlinge, S. S., & Gupta, A. K., 2013. Pavement Deterioration and Its Causes. *International Journal of Innovative Research and Development*, 2(4), 437-450.
- Al-Khateeb, L. A., Saoud, A., & Al-Msouti, M. F., 2011. Rutting Prediction of Flexible Pavements Using Finite Element Modeling. *Jordan Journal of Civil Engineering*, 5(2), 173-190.
- Alsherri, A., & George, K. P., 1988. Reliability Model for Pavement Performance. *Journal of Transportation Engineering*, 114(3), 294-306.
- Aminsyah, M., 2010. Pengaruh Kepipihan Dan Kelonjongan Agregat Terhadap Perkerasan Lentur Jalan Raya. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 6(1), 23-36.
- Ameri, M., & Khavandi, A., 2009. Development of Mechanistic-Empirical Flexible Pavement Design in Iran. *Journal of Applied Sciences*, 9(2), 354-359.
- Binamarga, 1987, *Metode Analisa Komponen*, Jakarta.
- Dinata, D. I., Rahmawati, A., & Setiawan, D., 2017. Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur Dengan Metode Analisa Komponen Dari Bina Marga 1987 Dan Metode Aashto 1993 Menggunakan Program *Kenpave* (Studi Kasus: Jalan Karangmojo-Semin Sta 0+ 000 sampai Sta 4+ 050). *Jurnal Semesta Teknika*, 20(1), 8-19.

- Ferdian, T., Prasasya, A., Subagio, B. S., & Hendarto, S., 2008. Analisis Struktur Perkerasan Lentur Menggunakan Program Everseries dan Metoda AASHTO 1993 Studi kasus: Jalan Tol Jakarta-Cikampek. *Journal of Civil Engineering*, 15(3), 133-142.
- Gupta, A., Kumar, P., & Rastogi, R., 2015. Mechanistic–Empirical Approach for Design of Low Volume Pavements. *International Journal of Pavement Engineering*, 16(9), 797-808.
- Huang, Y.H., 2004, *Pavements Analysis and Design*, University of Kentucky, New Jersey, U.S.A: Prentice Hall.
- Lestari, I. G. A. I., 2013. Perbandingan Perkerasan Kaku Dan Perkerasan Lentur. *Jurnal Transportasi*, 7(1), 133-134.
- Loulizi, A., Al-Qadi, I. L., & Elseifi, M., 2006. Difference Between In Situ Flexible Pavement Measured and Calculated Stresses and Strains. *Journal of Transportation Engineering*, 132(7), 574-579.
- Ramyashree, P. H., 2016, Analysis on Performance of Terrazyme Stabilized Soil by Using KENPAVE Software. *International Journal of Engineering Science*, 6(10), 2729-2732.
- Simanjuntak, I., 2014. Evaluasi Tebal Lapis Perkerasan Lentur Manual Desain Perkerasan Jalan No. 22.2/KPTS/Db/2012 dengan Menggunakan Program Kenpave. *Jurnal Teknik Sipil*, 3(2), 1-10.
- The Asphalt Institute. 1999. *Asphalt Pavements for Highway & Streets Manual Series No.1 (MS-1)*. 9<sup>TH</sup> ED. Lexington.
- Zakaria, N. M., Yusoff, N. I. M., Hardwiyono, S., Mohd Nayan, K. A., & El-Shafie, A., 2014. Measurements of the Stiffness and Thickness of the Pavement Asphalt Layer Using the Enhanced Resonance Search Method. *The Scientific World Journal*, (2014), 1-8.