

STUDI PENGARUH TEBAL LAPIS DAN MODULUS ELASTISITAS TERHADAP RESPON STRUKTUR PERKERASAN LENTUR DAN KAPASITAS BEBAN REPETISI

Dian Noor Fahriyani Suneth¹, Berlian Kushari²

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

Email: dianfsuneth@gmail.com

²Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

Email: bkushari@uii.ac.id

Abstrak

Perencanaan konstruksi perkerasan jalan dapat dibedakan antara perencanaan untuk jalan baru dan untuk peningkatan (jalan lama yang sudah diperkeras). Peningkatan struktural dapat disebabkan oleh kondisi lapisan tanah dasar yang tidak stabil, beban lalu lintas, kelelahan permukaan dan pengaruh kondisi lingkungan disekitarnya. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengevaluasi dan menganalisis perkerasan berdasarkan variasi tebal lapis dan modulus elastisitas yang dimodelkan dalam karakteristik material linear elastis. Dengan perkiraan bahwa perkerasan seperti hal tersebut, dapat memungkinkan untuk menghitung respon struktur akibat beban kendaraan berupa tegangan *horizontal* dan tegangan vertikal, regangan tarik *horizontal* dan regangan tekan vertikal serta jumlah repetisi beban berdasarkan kerusakan retak lelah, alur dan deformasi permanen pada struktur tersebut.

Penelitian ini memprediksi jumlah kendaraan menggunakan metode empiris yaitu Bina Marga 2017, sedangkan untuk menghitung tegangan-regangan struktur perkerasan digunakan metode mekanistik-empiris dibantu dengan program *KENPAVE*.

Jumlah repetisi beban pada perkerasan eksisting berdasarkan kerusakan *fatigue cracking* didapat sebesar 256.335.524 ESAL, *rutting* sebesar 149.976.316 ESAL dan *permanent deformation* sebesar 193.843.292 ESAL. Dari ketiga variasi tebal pada lapis permukaan, pondasi atas dan pondasi bawah, tebal pada lapis permukaanlah yang memiliki dampak yang lebih besar pada jumlah repetisi beban serta umur perkerasan. Semakin tebal lapis permukaan maka jumlah repetisi beban dan umur perkerasan juga semakin besar. Semakin besar modulus elastisitas pada pondasi atas maka jumlah repetisi beban berdasarkan kerusakan retak lelah dan alur juga semakin besar, begitu juga dengan umur perkerasan tersebut. Sedangkan semakin besar modulus elastisitas pada pondasi bawah maka jumlah repetisi beban berdasarkan kerusakan deformasi permanen akan semakin besar, begitu pula dengan umur perkerasannya. Kenaikan nilai beban repetisi dan umur perkerasan akan terjadi bila regangan pada struktur perkerasan semakin kecil.

Kata Kunci: Bina Marga 2017, Kerusakan Jalan, *KENLAYER*, Perkerasan Lentur, Respon Struktur

Abstract

Planning a pavement construction can be distinguished between planning for new roads and for improvement (old roads that have been hardened). Structural enhancement may be caused by unstable basement soil conditions, traffic load, surface fatigue and environmental influences. This study evaluated and analyzed a pavement based on layer thickness and modulus of elasticity which is modeled in the characteristic of linear elastic material. With presupption like that, it's possible to calculate structure responses due to vehicle load in the form of horizontal stress and vertical stress, horizontal tensile strain and vertical compressive strain as well as the number of load repetition based on fatigue cracking, rutting and permanent deformation damages.

This study predicted the number of vehicles using the empirical method of Bina Marga 2017, while stress-strain calculation used mechanistic-empirical methods aided by KENPAVE program.

The number of load repetition on the existing pavement based on fatigue cracking damage was 256.335.524 ESAL, rutting was 149.976.316 ESAL and permanent deformation was 193.843.292 ESAL. From the three thickness variations on the surface course, base course and subbase course, the thickness of the surface course had a greater impact on the number of load repetition and the age of the pavement. The thicker the surface course then the number of repetition load and the age of pavement is also greater. The greater the modulus of elasticity on the base course then the number of load reps based on fatigue cracking and rutting damages were also greater, as well as the of the pavement. While the greater the modulus of elasticity on the subbase course then the number of load reps based on permanent damage would be greater. The increase of load repetition load and pavement life would occur when the strain on the pavement strcuture is smaller.

Keywords: Bina Marga 2017, Flexible Pavement, *KENLAYER*, Road Damage, Structure Response

1. PENDAHULUAN

Pembangunan jalan di Indonesia berkembang sangat pesat baik di Jawa maupun di luar Jawa. Hal ini dikarenakan jalan merupakan penunjang berbagai sektor pembangunan dan merupakan prasarana dalam pembangunan kawasan pemukiman, kawasan industri dan pembukaan daerah-daerah sepanjang jalan tersebut. Konstruksi perkerasan jalan dapat dibedakan antara perencanaan untuk jalan baru dan untuk peningkatan (jalan lama yang sudah diperkeras). Metode perencanaan perkerasan lentur dapat diklasifikasikan kedalam dua kategori yaitu metode empiris dan metode mekanistik-empirik. Metode empiris untuk desain struktur perkerasan lentur yang berlaku di Indonesia adalah Metode Bina Marga dan Metode *AASHTO*. Metode empiris dikembangkan berdasarkan pengalaman dan penelitian dari jalan-jalan yang dibuat khusus untuk penelitian atau jalan yang sudah ada. Metode ini menunjukkan akurasi yang baik, tetapi memiliki kekurangan karena metode ini hanya dapat diterapkan pada satu daerah atau lingkungan, material, dan kondisi pembebanan.

Penelitian ini akan mengevaluasi dan menganalisis perkerasan berdasarkan tebal lapis dan modulus elastisitas yang dimodelkan dalam karakteristik material linear elastis. Dengan perkiraan bahwa perkerasan seperti hal tersebut, dapat memungkinkan untuk menghitung respon struktur akibat beban kendaraan berupa tegangan *horizontal (horizontal stress)* dan tegangan vertikal (*vertical stress*), regangan tarik *horizontal (horizontal tensile strain)* dan regangan tekan vertikal (*vertical compressive strain*) serta jumlah repetisi beban berdasarkan kerusakan retak leleh, alur dan deformasi permanen pada struktur tersebut. Metode yang digunakan untuk melakukan perhitungan ini adalah metode mekanistik-empirik karena perhitungan respon tegangan dan regangan pada setiap lapisan untuk suatu perkerasan adalah sangat kompleks yang membutuhkan ketelitian sangat tinggi sehingga akan rumit dilakukan

dengan cara manual, untuk itu diperlukan perhitungan dengan menggunakan bantuan komputer.

2. PERKERASAN JALAN

Saodang (2005) menyatakan perkerasan jalan adalah bagian dari jalur lalu lintas, yang bila kita perhatikan secara struktural pada penampang melintang jalan, merupakan penampang struktur dalam kedudukan yang paling sentral dalam suatu badan jalan. Lalu lintas langsung terkonsentrasi pada bagian ini, dan boleh dikatakan merupakan urat nadi dari suatu konstruksi jalan. Perkerasan jalan dalam kondisi baik maka arus lalu lintas akan berjalan dengan lancar, demikian sebaliknya bila perkerasan jalan rusak, lalu lintas akan sangat terganggu.

3. MANUAL DESAIN PERKERASAN JALAN BINA MARGA 2017

Adapun beberapa parameter yang dijadikan sebagai pertimbangan perhitungannya ada seperti umur rencana, lalu lintas, faktor lajur, beban lalu lintas dan tingkat pertumbuhan lalu lintas.

a. Faktor Pertumbuhan Lalu Lintas

$$R = \frac{(1+0,01i)^{UR}-1}{0,01i} \quad (1)$$

b. Lalu Lintas Pada Lajur Rencana

Lajur rencana adalah salah satu lajur lalu lintas dari suatu ruas jalan yang menampung lalu lintas kendaraan paling besar. Faktor distribusi arah (DD) umumnya diambil 0,50 kecuali pada lokasi-lokasi yang jumlah kendaraan niaga cenderung lebih tinggi pada satu arah tertentu.

c. Faktor Ekuivalen Beban/Faktor Ekuivalen Beban/Vehicle Damage Factor (VDF)

Dalam desain perkerasan, beban lalu lintas dikonversi ke beban standar (ESA) dengan menggunakan Faktor Ekuivalen Beban (*Vehicle Damage Factor*). Analisis struktur perkerasan dilakukan berdasarkan jumlah kumulatif ESA pada lajur rencana sepanjang umur rencana.

d. Beban Sumbu Standar Kumulatif

$$ESA = (\Sigma LHR \times VDF) \times 365 \times DD \times DL \times R \quad (2)$$

dengan ESA = kumulatif lintasan sumbu standar ekuivalen (*equivalent standard axle*), LHR = lintas harian rata – rata (satuan kendaraan per hari), VDF = Faktor Ekuivalen Beban (*Vehicle Damage Factor*), DD = Faktor distribusi arah, DL = Faktor distribusi lajur, CESAL = Kumulatif beban sumbu standar ekuivalen selama umur rencana, R = Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif

4. PROGRAM KENLAYER

Program *KENLAYER* adalah program yang digunakan untuk perkerasan lentur yang menentukan rasio kerusakan menggunakan model tekanan (*distress model*). *Distress model* dalam *KENLAYER* adalah retak dan deformasi, maksudnya ialah *output* regangan yang dianalisis menggunakan *KENLAYER* sehingga menghasilkan retak dan deformasi dalam suatu perancangan perkerasan jalan. Salah satunya adalah regangan tarik horisontal pada bawah lapisan perkerasan yang menyebabkan kelelahan retak dan regangan tekan vertikal pada permukaan dasar yang menyebabkan deformasi permanen atau *rutting*.

Program *KENLAYER* menganalisis perkerasan jalan dengan tipe perkerasan berbeda seperti *linear*, *non linear*, *viscoelastis* dan kombinasi dari ketiganya. Selain itu program ini juga bisa menganalisis beban sumbu kendaraan yaitu, sumbu tunggal, sumbu tunggal roda ganda, sumbu tandem, dan sumbu *triple*. Untuk menginput data pada *KENLAYER* melalui menu *LAYERINP*.

5. PEMODELAN KERUSAKAN

Analisa kerusakan perkerasan yang akan dibahas adalah retak fatik (*fatigue cracking*), alur (*rutting*) dan deformasi permanen (*permanent deformation*). Berikut ini adalah persamaan dari kerusakan tersebut berdasarkan *Asphalt Institute*.

1. *Fatigue cracking*

Fatigue cracking diakibatkan oleh beban yang berulang yang dialami oleh lapis permukaan perkerasan jalan. Pada Persamaan 1 digunakan untuk mengetahui repetisi ban berdasarkan regangan tarik di bawah lapis permukaan.

$$N_f = 0,0796(\epsilon_t)^{-3,921} |E^*|^{-0,854} \quad (3)$$

2. *Rutting*

Alur yang terjadi pada lapis permukaan jalan, merupakan akumulasi dari semua deformasi plastis yang terjadi, baik dari lapis beraspal, lapis agregat pondasi dan lapis tanah dasar. Jumlah nilai repetisi beban dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2 berikut.

$$N_r = f_4(\epsilon_c)^{-f^5} \quad (4)$$

3. *Permanent Deformation*

Deformasi permanen dapat diketahui di setiap lapisan dari struktur, membuat lebih sulit untuk memprediksi dibanding retak lelah. Jumlah nilai repetisi beban dihitung dengan menggunakan Persamaan 3 berikut.

$$N_d = f_4(\epsilon_c)^{-f^5} \quad (5)$$

6. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan, yaitu sebagai berikut.

a. Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini, jenis data yang digunakan adalah data sekunder seperti: peta lokasi, data tanah dasar (CBR), data LHR, data *properties material* dan data struktur perkerasan jalan seperti geometri jalan (panjang jalan, lebar jalan, bahu jalan, jumlah arah dan jalur jalan).

b. Pengolahan data

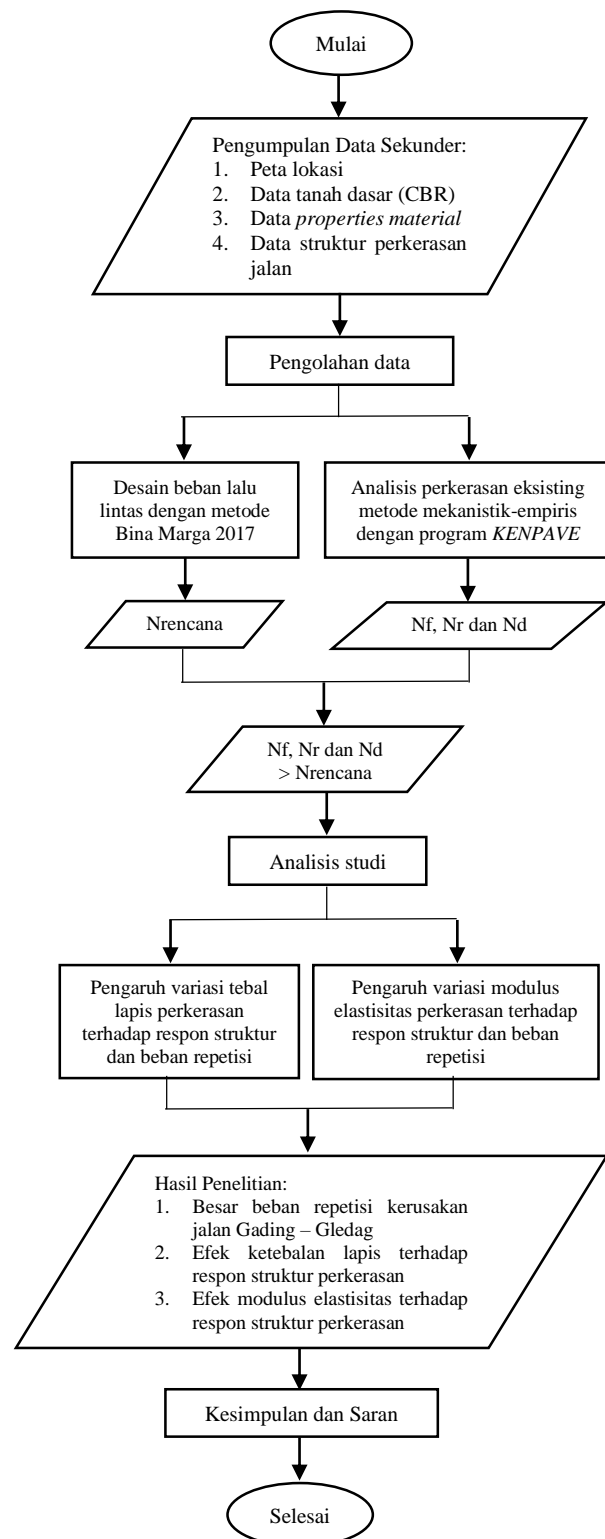
Adapun langkah-langkah dalam penelitian ini dengan tujuan untuk mempermudah proses analisis data adalah sebagai berikut.

1) Prosedur Desain Perkerasan Jalan Lentur Bina Marga 2017

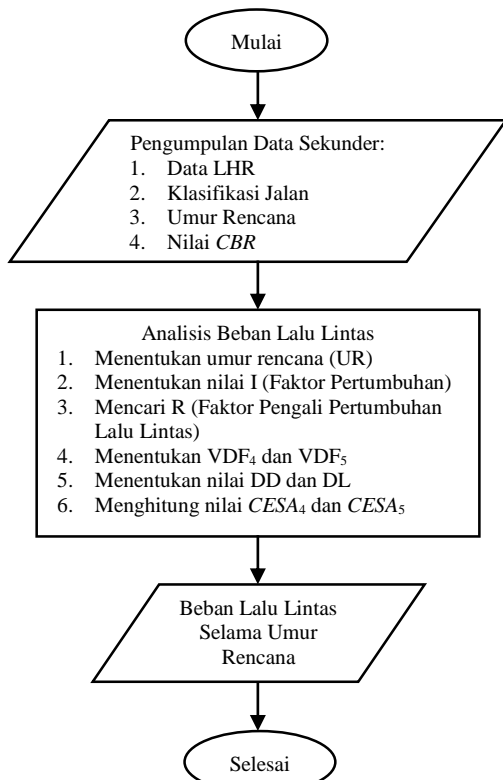
- a) Menentukan umur rencana dengan mempertimbangkan elemen

- perkerasan berdasarkan analisis *discounted whole life cost* terendah,
- b) Menentukan faktor pengali pertumbuhan lalu lintas (R),
 - c) Menentukan nilai *VDF*,
 - d) Menentukan nilai faktor distribusi arah (DD) dan faktor distribusi lajur kendaraan niaga (DL),
 - e) Menentukan nilai *CESA* sesuai dengan umur dan lalu lintas rencana.
- 2) Prosedur Metode *KENPAVE*
- a) Menentukan data *properties material* untuk pemodelan struktur antara lain:
 - (1) Tebal lapis tiap perkerasan,
 - (2) Nilai modulus elastisitas (E) tiap lapis perkerasan,
 - (3) Nilai poisson's ratio tiap lapis perkerasan,
 - b) Menganalisis data lalu lintas antara lain:
 - (1) menentukan periode waktu tinjauan analisis perkerasan,
 - (2) menghitung *Equivalent Single Axle Load (ESAL)*,
 - (3) menentukan detail beban sumbu dan roda.
 - c) Melakukan pemodelan struktur perkerasan dengan program *KENPAVE* dan untuk perkerasan layer menggunakan sub program *KENLAYER*,
 - d) Menentukan hasil *output* dari program *KENLAYER* digunakan untuk mengetahui respon tegangan-regangan yang terjadi akibat beban lalu lintas, dan
 - e) Menganalisis repetisi beban lalu lintas yang dihasilkan dari program *KENPAVE*.

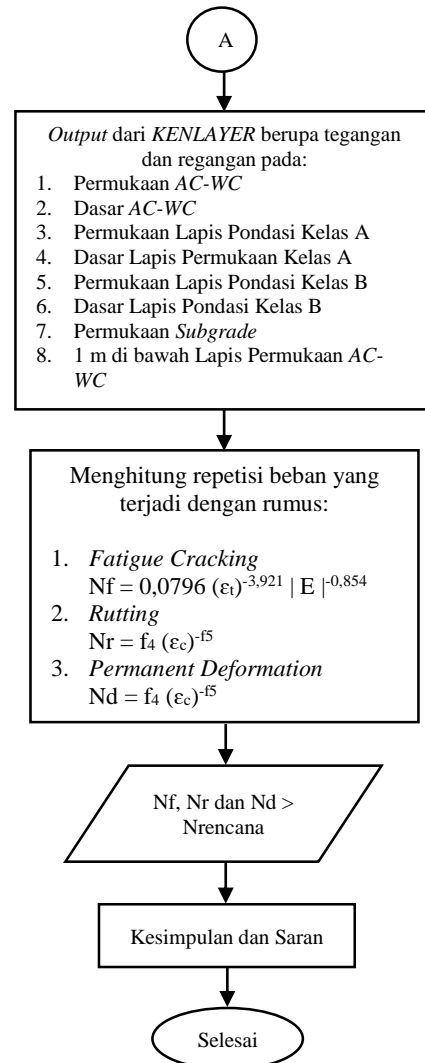
Bagan alir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1 sampai Gambar 3 sebagai berikut.



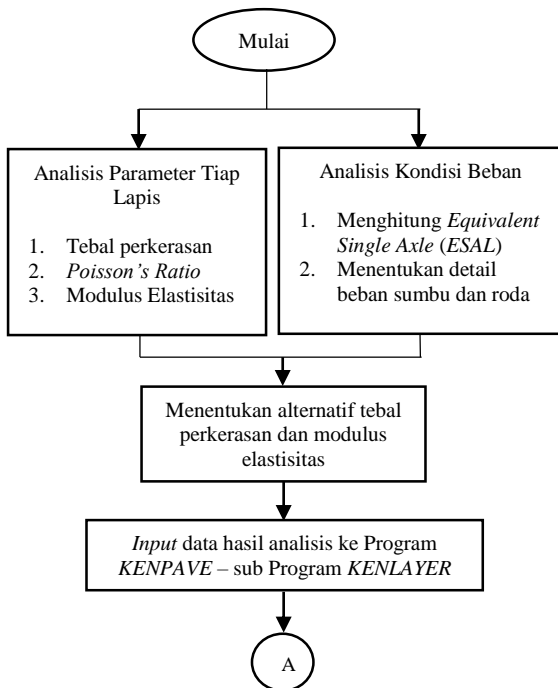
Gambar 1. Bagan Alir Penelitian



Gambar 2. Bagan Alir Desain Perkerasan Jalan Nomor 04/SE/Db/2017



Gambar 3. Bagan Alir Program KENPAVE



7. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

7.1 Evaluasi Desain Perkerasan Ekisting

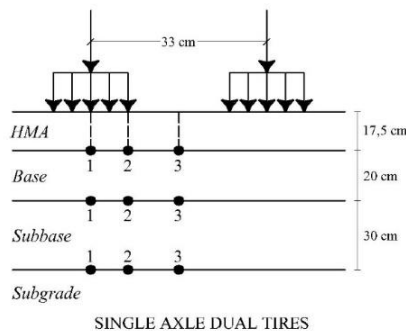
Dengan data tebal perkerasan yang diperoleh dari Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional D.I.Yogyakarta, maka prediksi jumlah kendaraan selama umur rencana dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Prediksi Jumlah Kendaraan Selama Umur Rencana (20 tahun)

Jenis Kendaraan		R	Jumlah Hari	DD	DL	VDF4	VDF5	ESAL4	ESAL5
Gol 1, 2, 3, 4	28643	28,280	365	0,5	1	0	0	0	0
Gol 5a	245	28,280	365	0,5	1	0	0	0	0
Gol 5b	145	28,280	365	0,5	1	1,0	1,0	748.351	748.351
Gol 6a	250	28,280	365	0,5	1	0,55	0,5	709.643	645.130
Gol 6b	566	28,280	365	0,5	1	5,3	9,2	15.482.094	26.874.578
Gol 7a	59	28,280	365	0,5	1	8,2	14,4	2.496.912	4.384.821
Gol 7b	0	28,280	365	0,5	1	11,8	18,2	0	0
Gol 7c	24	28,280	365	0,5	1	11,0	19,8	1.362.515	2.452.527
CESA								20.799.515	35.105.407

7.2 Hasil Analisis KENLAYER

Pada analisis ini karena roda merupakan *single axle with dual tires*, maka nilai koordinat tinjauan berdasarkan jenis roda dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



Gambar 4. Koordinat Tinjauan Berdasarkan Jenis Roda

Adapun hasil rekapitulasi *output* dari seluruh pengulangan beban pada tebal perkerasan eksisting berdasarkan koordinat tinjauan roda menurut Gambar 2 dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Nilai Vertical Strain dan Horizontal Strain Perkerasan Eksisting

No. Koordinat	Vertical Strain (kPa) pada kedalaman 17,499 cm	Vertical Strain (kPa) pada kedalaman 67,501 cm	Horizontal Strain (kPa) pada kedalaman 17,499 cm
1	0,0001562	0,0001366	0,0001575
2	0,0001311	0,0001475	0,0001595
3	0,0001147	0,0001474	0,0001564
Max	0,0001562	0,0001475	0,0001595

Setelah nilai tegangan dan regangan diperoleh, yang dilakukan selanjutnya adalah analisis kerusakan *fatigue cracking*, *permanent deformation* dan *rutting* dalam menentukan jumlah repetisi beban. Repetisi beban tersebut harus lebih besar dari CESA yang telah diprediksi. Untuk nilai f_4 dan f_5 mengikuti rekomendasi dari *Asphalt Institute*.

Jumlah repetisi beban berdasarkan kerusakan *fatigue cracking*

$$N_f = 0,0796 (\epsilon_t)^{-3,921} |E^*|^{-0,854}$$

$$= 0,0796 (0,0001595)^{-3,921} |2.000.000|^{-0,854}$$

$$= 256.335.524 \text{ ESAL}$$

Jumlah repetisi beban berdasarkan kerusakan *rutting*

$$N_r = f_4 (\epsilon_c)^{-f_5}$$

$$= 1,365 \times 10^{-9} (0,0001562)^{-4,477}$$

$$= 149.976.316 \text{ ESAL}$$

Jumlah repetisi beban berdasarkan kerusakan *permanent deformation*

$$N_d = f_4 (\epsilon_c)^{-f_5}$$

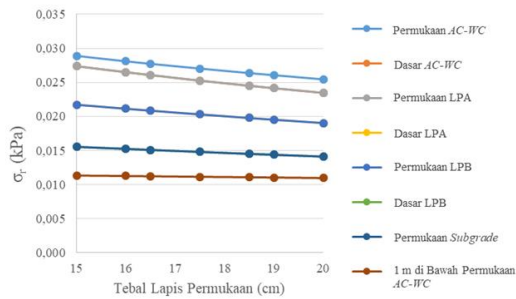
$$= 1,365 \times 10^{-9} (0,0001475)^{-4,477}$$

$$= 193.843.292 \text{ ESAL}$$

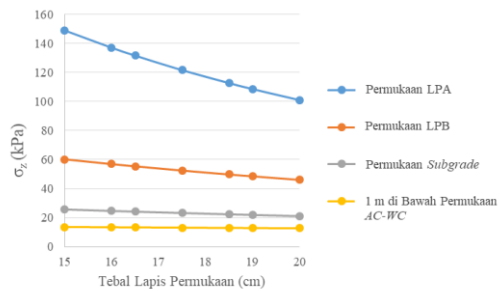
Berdasarkan hasil analisis di atas, evaluasi desain perkerasan eksisting menggunakan sub program *KENLAYER* dapat disimpulkan bahwa jumlah repetisi beban berdasarkan kerusakan *fatigue cracking* adalah sebesar 256.335.524 *ESAL*, berdasarkan kerusakan *rutting* sebesar 149.976.316 *ESAL*, dan berdasarkan kerusakan *permanent deformation* sebesar 193.843.292 *ESAL*.

7.3 Pengaruh Variasi Tebal Lapis Terhadap Respon Struktur Perkerasan Lentur dan Beban Repetisi

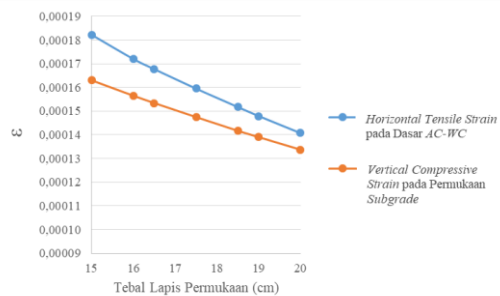
Berdasarkan hasil variasi tebal lapis perkerasan dengan menggunakan sub program *KENLAYER* respon tegangan *horizontal*, tegangan vertikal, regangan tarik *horizontal* dan regangan tekan vertikal dapat dilihat pada Gambar 5 sampai Gambar 13 berikut.



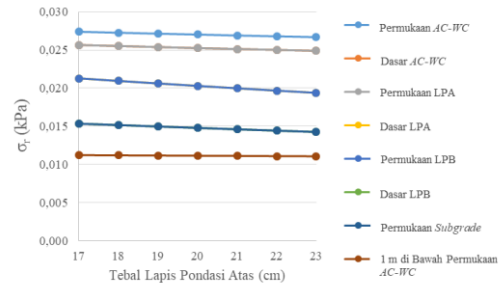
Gambar 5. Tegangan *Horizontal* pada Berbagai Variasi Tebal Lapis Permukaan



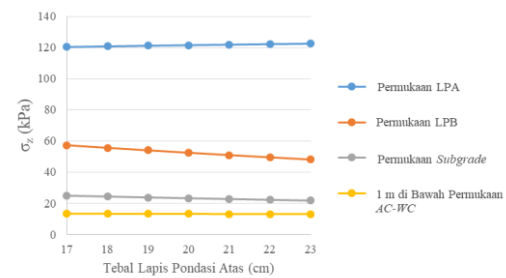
Gambar 6. Tegangan Vertikal pada Berbagai Variasi Tebal Lapis Permukaan



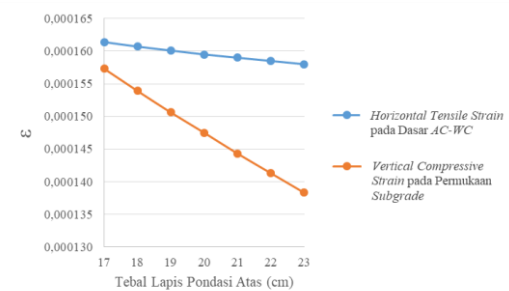
Gambar 7. *Horizontal dan Vertical Strain* pada Berbagai Variasi Tebal Lapis Permukaan



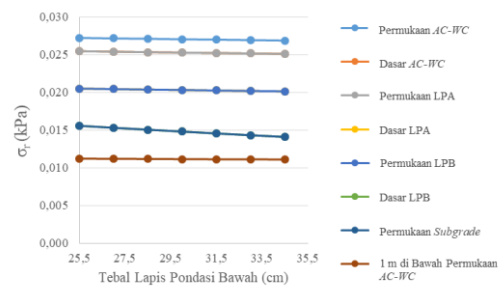
Gambar 8. Tegangan *Horizontal* pada Berbagai Variasi Tebal Lapis Pondasi Atas



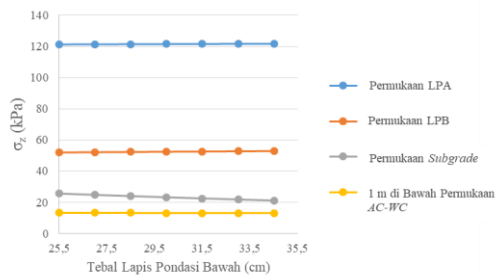
Gambar 9. Tegangan Vertikal pada Berbagai Variasi Tebal Lapis Pondasi Atas



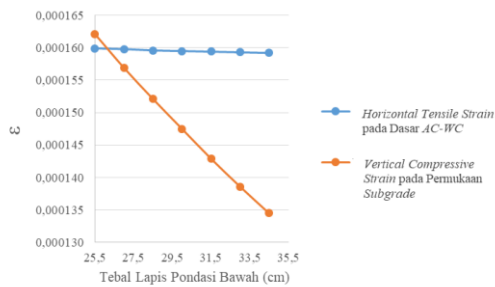
Gambar 10. *Horizontal dan Vertical Strain* pada Berbagai Variasi Tebal Lapis Pondasi Atas



Gambar 11. Tegangan *Horizontal* pada Berbagai Variasi Tebal Lapis Pondasi Bawah



Gambar 12. Tegangan Vertikal pada Berbagai Variasi Tebal Lapis Pondasi Bawah



Gambar 13. Horizontal dan Vertical Strain pada Berbagai Variasi Tebal Lapis Pondasi Bawah

Gambar 5 di atas menunjukkan semakin tebal lapis permukaan maka akan semakin kecil tegangan *horizontal* yang diperoleh. Tegangan *horizontal* pada dasar lapis AC-WC dengan permukaan LPA memiliki nilai yang sama, begitu pula dengan nilai tegangan pada dasar LPA dengan permukaan LPB serta tegangan pada dasar LPB dengan permukaan *subgrade*. Namun variasi tebal lapis permukaan tidak mempengaruhi respon struktur pada *subgrade* (1 m di bawah Permukaan AC-WC) karena tegangan *horizontal* pada lapisan tersebut tidak mengalami penurunan yang terlalu besar.

Gambar 6 di atas menunjukkan semakin tebal lapis permukaan maka tegangan vertikal pada lapisan tersebut akan semakin kecil. Variasi tebal lapis permukaan diketahui mempengaruhi nilai tegangan vertikal pada lapis pondasi atas karena pada lapisan tersebut nilai tegangan mengalami penurunan yang signifikan.

Gambar 7 di atas menunjukkan pengaruh variasi lapis permukaan terhadap nilai

horizontal tensile strain pada dasar lapis AC-WC dan nilai *vertical compressive strain* pada lapis permukaan *subgrade*. Semakin tebal lapis permukaan maka akan semakin kecil nilai regangan tarik yang didapat.

Gambar 8 di atas menunjukkan semakin tebal lapis pondasi atas maka akan semakin kecil tegangan *horizontal* yang diperoleh.

Gambar 9 di atas menunjukkan semakin tebal lapis pondasi atas maka tegangan vertikal pada lapisan tersebut akan semakin besar. Variasi tebal lapis pondasi atas diketahui tidak mempengaruhi lapisan di bawahnya karena tegangan vertikal lapisan-lapisan tersebut mengalami penurunan.

Gambar 10 di atas menunjukkan bahwa semakin tebal lapis pondasi atas maka nilai regangan akan semakin kecil. Variasi tebal lapis pondasi atas mempengaruhi *vertical compressive strain* pada permukaan *subgrade* karena regangan menurun secara signifikan. Sedangkan variasi tebal lapis pondasi atas tidak mempengaruhi *horizontal tensile strain* pada dasar lapis AC-WC karena nilai regangan tidak mengalami penurunan yang terlalu besar.

Gambar 11 di atas menunjukkan semakin tebal lapis pondasi bawah maka akan semakin kecil tegangan *horizontal* yang diperoleh.

Gambar 12 di atas menunjukkan semakin tebal lapis pondasi bawah maka tegangan vertikal pada lapisan LPB dan LPA akan semakin besar. Variasi tebal lapis pondasi bawah diketahui tidak mempengaruhi lapisan *subgrade* karena tegangan vertikal lapisan-lapisan tersebut mengalami penurunan.

Gambar 13 di atas menunjukkan bahwa semakin tebal lapis pondasi bawah maka nilai regangan akan semakin kecil. Variasi tebal lapis pondasi bawah mempengaruhi *vertical compressive strain* pada permukaan *subgrade* karena regangan menurun secara drastis. Sedangkan variasi tebal lapis pondasi bawah tidak mempengaruhi *horizontal tensile strain* pada dasar lapis AC-

WC karena nilai regangan hampir sama atau tidak mengalami penurunan yang besar.

Jumlah beban repetisi berdasarkan kerusakan retak lelah, alur dan deformasi

permanen pada berbagai variasi tebal lapis beserta umur perkerasan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Repetisi Beban Berdasarkan Analisis Kerusakan Retak lelah, Alur dan Deformasi Permanen pada Berbagai Variasi Tebal Lapis Beserta Umur Perkerasan

Variasi Tebal Perkerasan* (cm)		Repetisi Beban		
		<i>Fatigue Cracking (ESAL)</i>	<i>Rutting (ESAL)</i>	<i>Permanent Deformation (ESAL)</i>
Lapis Permukaan (LPA & LPB konstan pada tebal 20 cm & 30 cm)	15	152.132.948	70.820.724	123.927.802
		48 tahun	31 tahun	43 tahun
	16	190.689.338	96.167.395	148.693.486
		53 tahun	38 tahun	47 tahun
	16,5	210.590.761	111.779.188	162.626.950
		56 tahun	41 tahun	50 tahun
	17,5	256.335.524	149.976.316	193.843.292
		61 tahun	48 tahun	54 tahun
	18,5	312.024.711	199.837.784	231.979.620
		66 tahun	55 tahun	58 tahun
	19	344.657.903	230.519.393	252.845.594
		68 tahun	58 tahun	60 tahun
20	419.152.726	303.955.497	300.913.964	
	74 tahun	65 tahun	65 tahun	
Lapis Pondasi Atas (LP & LPB konstan pada tebal 17,5 cm & 30 cm)	17	244.705.488	146.585.127	145.337.659
		60 tahun	47 tahun	47 tahun
	18	248.911.636	147.845.719	160.274.839
		60 tahun	47 tahun	49 tahun
	19	252.589.352	149.119.599	176.607.951
		60 tahun	47 tahun	51 tahun
	20	256.335.524	149.976.316	193.843.292
		61 tahun	48 tahun	54 tahun
	21	259.510.735	151.272.712	213.844.107
		61 tahun	48 tahun	56 tahun
22	262.735.464	152.144.597	234.934.173	
	61 tahun	48 tahun	59 tahun	
23	266.010.643	153.022.636	258.625.743	
	62 tahun	48 tahun	61 tahun	
Lapis Pondasi Bawah (LP & LPA konstan pada tebal 17,5 cm & 20 cm)	25,5	253.830.395	149.119.599	127.038.130
		61 tahun	47 tahun	44 tahun
	27	254.453.786	149.547.207	147.003.858
		61 tahun	48 tahun	47 tahun
	28,5	255.706.343	149.547.207	168.942.984
		61 tahun	48 tahun	50 tahun
	30	256.335.524	149.976.316	193.843.292
		61 tahun	48 tahun	54 tahun
31	256.966.648	150.406.933	223.384.669	
	61 tahun	48 tahun	57 tahun	

Lanjutan Tabel 3. Repetisi Beban Berdasarkan Analisis Kerusakan Retak leleh, Alur dan Deformasi Permanen Beserta Umur Perkerasan

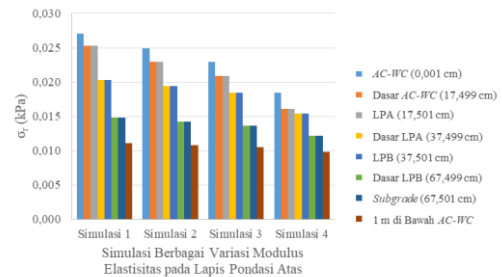
Variasi Tebal Perkerasan* (cm)		Repetisi Beban		
		<i>Fatigue Cracking (ESAL)</i>	<i>Rutting (ESAL)</i>	<i>Permanent Deformation (ESAL)</i>
	31,5	256.966.648	150.406.933	223.384.669
		61 tahun	48 tahun	57 tahun
	33	257.599.725	150.839.063	256.128.950
		61 tahun	48 tahun	61 tahun
	34,5	258.234.760	150.839.063	292.983.380
		61 tahun	48 tahun	64 tahun

*Catatan: Lapis perkerasan yang tidak dianalisis memiliki ketebalan yang sama dengan tebal perkerasan eksisting. Asumsi angka pertumbuhan lalu lintas = 3,5% per tahun, sesuai MDPJ 2017 Tabel 3.2 untuk Pulau Jawa

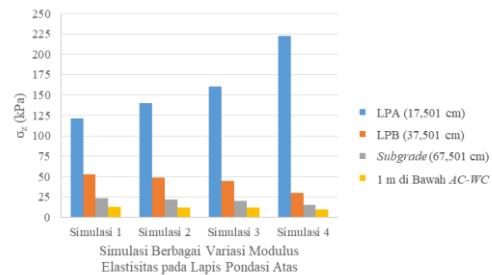
Dari Tabel 3 di atas menunjukkan pengaruh variasi tebal lapis perkerasan terhadap nilai repetisi beban berdasarkan kerusakan leleh retak leleh, alur dan deformasi permanen. Diketahui semakin tebal lapis perkerasan maka jumlah repetisi beban berdasarkan kerusakan yang dianalisis akan semakin besar. Seluruh variasi tebal perkerasan di atas memiliki beban repetisi yang lebih besar daripada beban kendaraan selama umur rencana sebesar 35.105.407 *ESAL*. Tetapi dari ketiga variasi tebal lapis perkerasan, hanya variasi tebal pada lapis permukaan yang berdampak besar pada jumlah repetisi beban. Oleh karena itu Tabel 5.20 dapat digunakan sebagai referensi pemilihan struktur perkerasan empat lapis dengan material linear elastis berdasarkan nilai repetisi beban yang diinginkan. Namun bila struktur perkerasan menggunakan material viskoelatis maka jumlah repetisi beban yang dihasilkan akan berbeda.

7.4 Pengaruh Variasi Modulus Elastisitas Terhadap Respon Struktur Perkerasan Lentur dan Beban Repetisi

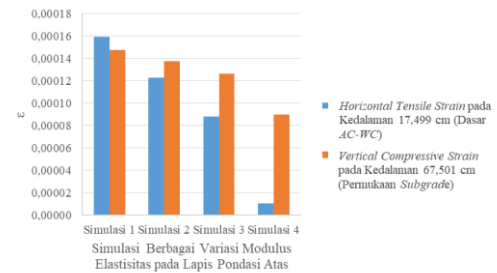
Berdasarkan hasil variasi modulus elastisitas lapis pondasi atas dan lapis pondasi bawah dengan menggunakan sub program *KENLAYER* respon tegangan *horizontal*, tegangan vertikal, regangan tarik *horizontal* dan regangan tekan vertikal dapat dilihat pada Gambar 14 sampai Gambar 19 berikut.



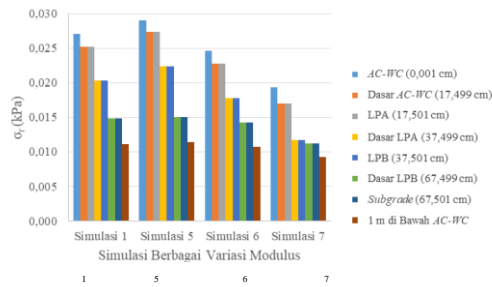
Gambar 14. Tegangan Horizontal pada Berbagai Variasi Modulus Elastisitas Lapis Pondasi Atas



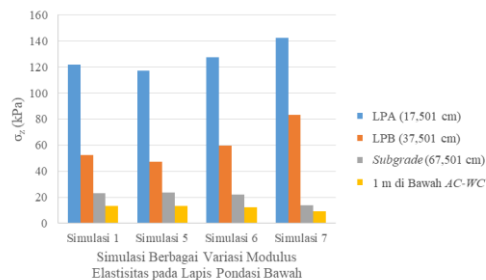
Gambar 15. Tegangan Vertikal pada Berbagai Variasi Modulus Elastisitas Lapis Pondasi Atas



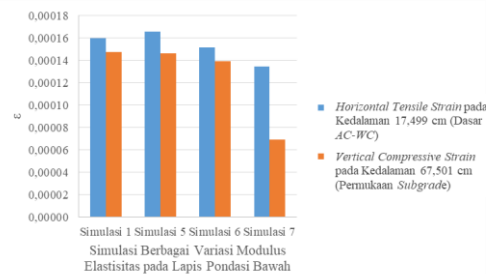
Gambar 16. Horizontal Dan Vertical Strain pada Berbagai Variasi Modulus Elastisitas Lapis Pondasi Atas



Gambar 17. Tegangan Horizontal pada Berbagai Variasi Modulus Elastisitas Lapis Pondasi Bawah



Gambar 18. Tegangan Vertikal pada Berbagai Variasi Modulus Elastisitas Lapis Pondasi Bawah



Gambar 19. Horizontal Dan Vertical Strain pada Berbagai Variasi Modulus Elastisitas Lapis Pondasi Bawah

Gambar 14 di atas menunjukkan semakin besar modulus elastisitas bahan pada pondasi atas maka akan semakin kecil tegangan horizontal yang diperoleh.

Gambar 15 di atas menunjukkan semakin besar modulus elastisitas bahan pada pondasi atas maka tegangan vertikal pada lapisan tersebut akan semakin besar. Namun variasi modulus pada pondasi atas tidak mempengaruhi respon struktur untuk lapisan dibawah pondasi atas karena tegangan vertikal pada lapis pondasi bawah dan subgrade mengalami penurunan.

Gambar 16 di atas menunjukkan bahwa semakin besar modulus elastisitas pada lapis

pondasi atas maka nilai regangan akan semakin kecil. Variasi modulus elastisitas lapis pondasi atas disimpulkan mempengaruhi *horizontal tensile strain* (regangan tarik horizontal) pada kedalaman 17,499 cm (Dasar AC-WC). Simulasi 4 berbahan *Cement Aggregate Mixture* dengan modulus elastisitas yang cukup besar yaitu 3.500.000 kPa maka regangan menurun secara drastis. Variasi modulus elastisitas juga mempengaruhi *vertical compressive strain* (regangan tekan vertikal) pada kedalaman 67,501 cm (*subgrade*) namun penurunan regangan tidak sebesar penurunan pada kedalaman 17,499 cm (Dasar AC-WC).

Gambar 17 di atas menunjukkan bahwa semakin besar modulus elastisitas maka nilai tegangan horizontal akan semakin kecil. Simulasi 5 berbahan *Lime Stabilized* dengan modulus elastisitas 140.000 kPa lebih kecil daripada modulus elastisitas perkerasan eksisting yang berbahan *Unbound Granular Material* dengan modulus elastisitas 210.000 kPa.

Gambar 18 di atas menunjukkan bahwa semakin besar modulus elastisitas pada lapis pondasi bawah, maka tegangan vertikal pada lapis pondasi atas dan lapis pondasi bawah akan semakin besar.

Gambar 19 di atas menunjukkan bahwa semakin besar modulus elastisitas pada lapis pondasi bawah maka nilai regangan akan semakin kecil. Variasi modulus elastisitas lapis pondasi bawah disimpulkan mempengaruhi *vertical compressive strain* (regangan tekan vertikal) pada kedalaman 67,501 cm (*subgrade*). Simulasi 7 berbahan *Cement Aggregate Mixture* dengan modulus 3.500.000 kPa maka regangan menurun secara drastis. Variasi modulus elastisitas juga mempengaruhi *horizontal tensile strain* (regangan tarik horizontal) pada kedalaman 17,499 cm (Dasar AC-WC) namun penurunan regangan tarik tidak sebesar penurunan pada kedalaman 67,501 cm (*subgrade*).

Jumlah beban repetisi berdasarkan kerusakan retak lelah, alur dan deformasi permanen pada berbagai variasi modulus

elastisitas lapis perkerasan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Repetisi Beban Berdasarkan Analisis Kerusakan Retak lelah, Alur dan Deformasi Permanen pada Berbagai Variasi Modulus Elastisitas Beserta Umur Perkerasan

Repetisi Beban	Lapis Permukaan	Lapis Pondasi Atas* (LP & LPB konstan pada modulus elastisitas 2.000.000 kPa & 105.000 kPa)				Lapis Pondasi Bawah* (LP & LPA konstan pada modulus elastisitas 2.000.000 kPa & 315.000 kPa)		
	Simulasi 1	Simulasi 2	Simulasi 3	Simulasi 4	Simulasi 5	Simulasi 6	Simulasi 7	
	Aspal Beton E = 2.000.000	Cement Treated Granular Base E = 500.000	Asphalt Treated Base E = 1.500.000	Cement Agregat Mixture E = 3.500.000	Lime Stabilized E = 140.000	Bituminous Stabilized Mixture E = 380.000	Cement Agregat Mixture E = 3.500.000	
Fatigue Cracking (ESAL)	256.335.524	710.093.455	2.641.824.440	12.286.933.753.198	220.734.337	315.271.719	498.709.650	
	61 tahun	88 tahun	125 tahun	370 tahun	57 tahun	66 tahun	78 tahun	
Rutting (ESAL)	149.976.316	254.480.794	450.106.063	1.765.668.014	137.731.589	167.952.002	206.060.633	
	48 tahun	61 tahun	76 tahun	114 tahun	46 tahun	50 tahun	55 tahun	
Permanent Deformation (ESAL)	193.843.292	263.709.273	391.049.026	1.765.668.014	201.680.200	251.223.230	5.689.158.216	
	54 tahun	61 tahun	72 tahun	114 tahun	55 tahun	60 tahun	147 tahun	

*Catatan: Lapis perkerasan yang tidak dianalisis memiliki modulus elastisitas yang sama dengan tebal perkerasan eksisting. Asumsi angka pertumbuhan lalu lintas = 3,5% per tahun, sesuai MDPJ 2017 Tabel 3.2 untuk Pulau Jawa

Dari Tabel 4 di atas menunjukkan pengaruh variasi modulus elastisitas terhadap nilai repetisi beban berdasarkan kerusakan retak lelah, alur dan deformasi permanen. Diketahui semakin besar modulus elastisitas maka jumlah repetisi beban berdasarkan kerusakan yang dianalisis akan semakin besar. Seluruh variasi modulus elastisitas di atas memiliki beban repetisi yang lebih besar daripada beban kendaraan selama umur rencana sebesar 35.105.407 ESAL. Oleh karena itu Tabel 5.25 dapat digunakan sebagai referensi pemilihan struktur perkerasan empat lapis berdasarkan nilai repetisi beban yang diinginkan.

Variasi modulus elastisitas pada lapis pondasi atas diketahui mempengaruhi repetisi beban berdasarkan kerusakan *fatigue cracking* (retak lelah) pada Simulasi 4 menggunakan bahan *cement aggregate mixture* sebesar 3.500.000 kPa, sedangkan variasi modulus elastisitas pada pondasi bawah diketahui mempengaruhi repetisi beban berdasarkan kerusakan *permanent deformation* pada Simulasi 7 menggunakan bahan *cement aggregate mixture* sebesar 3.500.000 kPa. Bila ingin memperbesar nilai repetisi beban berdasarkan kerusakan *fatigue cracking* dan *rutting*, pondasi atas lebih baiknya memiliki nilai modulus elastisitas yang besar atau bila ingin memperbesar nilai repetisi beban

berdasarkan kerusakan *permanent deformation*, pondasi bawah lebih baiknya memiliki nilai modulus elastisitas yang besar.

8. SIMPULAN

Dari hasil analisis pengaruh variasi tebal lapis perkerasan dan modulus elastisitas pada perkerasan eksisting Ruas Jalan Gading – Gledag dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

- Pada perkerasan eksisting, regangan maksimum penyebab terjadinya kerusakan *permanent deformation* terjadi di titik kritis pada permukaan tanah (*subgrade*) yaitu pada kedalaman 67,501 cm sebesar 0,0001475. Regangan maksimum penyebab terjadinya kerusakan *rutting* pada kedalaman 17,499 cm sebesar 0,0001562. Sedangkan untuk kerusakan *fatigue cracking*, regangan maksimum yang terjadi pada kedalaman 17,499 cm sebesar 0,0001595. Kerusakan yang terjadi pada perkerasan lentur akan mengalami *fatigue cracking* setelah 256.335.524 ESAL, *rutting* setelah 149.976.316 ESAL, dan mengalami *permanent deformation* setelah 193.843.292 ESAL.
- Semakin tebal lapis perkerasan maka tegangan *horizontal* akan semakin kecil.

- Bila dilakukan variasi tebal lapis permukaan maka tegangan *horizontal* pada lapis permukaan AC-WC sampai lapis permukaan *subgrade* akan semakin kecil, variasi tebal lapis pondasi atas mempengaruhi nilai tegangan *horizontal* pada lapis dasar pondasi atas sampai permukaan *subgrade*, dan variasi tebal lapis pondasi bawah mempengaruhi nilai tegangan *horizontal* pada lapis dasar pondasi bawah sampai lapis permukaan *subgrade*.
- c. Tegangan vertikal akan terjadi penurunan bila lapis perkerasan semakin tebal. Tetapi bila dilakukan variasi tebal pada pondasi atas dan pondasi bawah maka hanya lapis perkerasan di atas lapisan-lapisan tersebut yang akan mengalami kenaikan nilai tegangan vertikal.
- d. Nilai *horizontal tensile strain* dan *vertical compressive strain* akan semakin kecil bila lapis perkerasan semakin tebal. Variasi tebal lapis permukaan mendapatkan nilai *horizontal tensile strain* terkecil pada ketebalan 20 cm. Sedangkan variasi tebal lapis pondasi bawah mendapatkan nilai *vertical compressive strain* terkecil pada ketebalan 34,5 cm.
- e. Jumlah repetisi beban dipengaruhi oleh nilai regangan pada dasar lapis permukaan AC-WC dan pada lapis permukaan *subgrade*. Repetisi beban terbesar terjadi pada variasi tebal lapis permukaan di ketebalan 20 cm, untuk repetisi beban berdasarkan kerusakan *fatigue cracking* sebesar 419.152.726 *ESAL* dengan umur perkerasan 74 tahun, kerusakan *rutting* sebesar 303.955.497 *ESAL* umur perkerasan 65 tahun dan kerusakan *permanent deformation* sebesar 300.913.964 *ESAL* umur perkerasan 65 tahun.
- f. Tegangan *horizontal* akan terjadi penurunan bila modulus elastisitas bahan perkerasan semakin besar. Variasi modulus lapis pondasi atas tidak mempengaruhi nilai tegangan *horizontal* lapisan *subgrade* pada kedalaman 1 m. Namun tegangan *horizontal* lapisan tersebut mengalami penurunan pada variasi modulus lapis pondasi bawah (Simulasi 7) berbahan *Cement Aggregate Mixture* dengan modulus elastisitas sebesar 3.500.000 kPa.
- g. Semakin besar modulus elastisitas maka nilai tegangan vertikal akan semakin besar. Tetapi bila dilakukan variasi modulus pada pondasi atas dan pondasi bawah maka hanya lapis perkerasan di atas lapisan-lapisan tersebut yang akan mengalami kenaikan nilai tegangan.
- h. Nilai *horizontal tensile strain* dan *vertical compressive strain* akan semakin kecil bila modulus elastisitas lapis perkerasan semakin besar. Variasi modulus pondasi atas mendapatkan nilai *horizontal tensile strain* terkecil pada Simulasi 4 berbahan *Cement Aggregate Mixture*. Sedangkan variasi modulus pondasi bawah mendapatkan nilai *vertical compressive strain* terkecil pada Simulasi 7 berbahan *Cement Aggregate Mixture*.
- i. Jumlah repetisi beban dipengaruhi oleh nilai regangan pada dasar lapis permukaan AC-WC dan pada lapis permukaan *subgrade*. Repetisi beban berdasarkan kerusakan *fatigue cracking* dan *rutting* terbesar terjadi pada Simulasi 4 pada berbagai variasi modulus elastisitas lapis pondasi atas, sedangkan repetisi beban berdasarkan kerusakan *permanent deformation* terbesar terjadi di Simulasi 7 pada berbagai variasi modulus elastisitas pondasi bawah. Kedua simulasi tersebut menggunakan bahan *Cement Aggregate Mixture* dengan modulus sebesar 3.500.000 kPa. Simulasi 4 menghasilkan repetisi beban

kerusakan retak lelah sebesar 12.286.933.753.198 *ESAL* dan alur sebesar 1.765.668.014 *ESAL*. Sedangkan Simulasi 7 menghasilkan repetisi beban kerusakan deformasi permanen sebesar 5.689.158.216 *ESAL*.

Berdasarkan hasil yang didapat dalam penelitian ini, dapat diberikan beberapa saran sebagai berikut.

- a. Pada penelitian selanjutnya disarankan menggunakan karakteristik material viskoelastis dengan spesifikasi creep compliances pada temperatur desain yang digunakan,
- b. Perlu penelitian mengenai pengaruh overloading atau kelebihan muatan pada sumbu tandem roda ganda 13,76 ton dan sumbu triple roda ganda 18,45 ton karena jenis beban kendaraan dapat menghasilkan nilai tegangan dan regangan yang berbeda, dan
- c. Saat menganalisis data, modulus elastisitas sebaiknya diukur langsung dan tidak menggunakan asumsi. Sehingga nantinya mendapatkan repetisi beban yang sesuai.

9. DAFTAR PUSTAKA

- Asphalt Institute. 1970. *Thickness Design – Full Depth Asphalt Pavement Structures for Highways and Stress 8th Edition*. Lexington.
- Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga. 2017. *Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 04/SE/Db/2017*. Jakarta.
- Huang, H. Y. 2004. *Pavement Analysis and Design*, 2nd ed. Pearson Education. Upper Saddle River, New Jersey.
- Saodang, H. 2005. *Konstruksi Jalan Raya*. Nova. Bandung.