

PENGARUH JENIS PEMBEBANAN DALAM ANALISIS STRUKTUR PERKERASAN LENTUR TERHADAP KINERJA PERKERASAN

Eri Susanto Hariyadi¹, Rulhendri²

Program Studi Teknik Sipil dan Lingkungan ITB Bandung (erisdi@yahoo.com)

Program Studi Teknik Sipil FT UIKA Bogor (rulhendri@gmail.com)

ABSTRAK

Dasar dari metoda analisis struktur memerlukan perhitungan tegangan dan regangan pada suatu perkerasan yang merupakan respons struktur terhadap kondisi pembebanan tertentu.

Didalam solusi analitis tegangan dan regangan tersebut, seringkali dilakukan simplifikasi dengan mengambil beberapa asumsi, seperti : kondisi isotropik dari setiap lapis perkerasan, kondisi interface antar lapis sangat kasar serta beban yang diterima struktur perkerasan yang diakibatkan roda kendaraan mempunyai arah vertikal. Asumsi diatas akan menghasilkan nilai tegangan, dan regangan yang belum sesuai dengan kenyataan. Oleh karena itu diperlukan pengembangan asumsi kearah faktor-faktor tersebut terutama faktor tipe pembebanan. Untuk variasi pembebanan ada 4 jenis pembebanan yang mungkin terjadi yaitu beban arah vertikal yang saat ini secara luas dipakai pada analisis struktur perkerasan lentur, beban vertikal yang dikombinasikan dengan tegangan geser arah radial memusat akibat 'cengkeraman' ban, beban vertikal yang dikombinasikan dengan tegangan arah horizontal akibat percepatan dan pengereman kendaraan dan beban vertikal yang dikombinasikan dengan momen akibat kendaraan membelok. Dengan menggunakan kriteria fatigue dapat dianalisis bahwa jenis pembebanan arah vertikal yang dikombinasikan dengan arah radial menghasilkan jumlah repetisi yang tiga kali lebih besar dibandingkan dengan pembebanan vertikal saja. Dalam pengertian umur perkerasan, pembebanan dengan mengabaikan beban arah pusat radial akan mengakibatkan perkiraan rencana umur perkerasan yang berlebihan. Penerapan model ini pada Jalan Tol Jakarta-Cikampek menunjukkan bahwa pengabaian beban geser radial memusat akan menyebabkan kerusakan jalan yang terlambat diantisipasi dengan program overlay akibat estimasi umur rencana yang lebih dari perkiraan.

Kata Kunci : Beban Perkerasan, Umur Perkerasan, Fatigue

ABSTRACT

The basis of structural analysis methods require the calculation of stress and strain in a pavement structure which is a response to specific loading conditions.

In the analytical solutions of stresses and strains, the simplification is often done by taking a few assumptions, such as isotropic condition of each pavement layer, inter-layer interface conditions are very rough and received loads of pavement structure caused by a vehicle wheel having a vertical direction. The above assumptions would produce a voltage value, and the strain that has not fit with reality. Therefore, the assumption is needed towards the development of these factors, especially factor loading type. For loading variations there are 4 types of loading that may occur is the vertical load that is currently widely used in the analysis of flexible pavement structure, the vertical load combined with converging radial direction of the shear stress due to 'grip' tires, vertical loads are combined with horizontal tension due to acceleration and braking of the vehicle and load vertical combined with the moment due to turning vehicles. By using the criteria of fatigue can be analyzed that the type of loading the vertical direction, combined with the radial direction produces the number of repetitions three times larger than the vertical loading only. Pavement in terms of age, regardless of loading direction of the central radial load will result in estimates of pavement life plan is excessive. The application of this model on Jakarta-Cikampek toll road showed that the neglect of radial concentrated load shear will cause damage to the road overlay program anticipated to be late due to the estimated design life of more than forecast.

Keywords: Load Pavement, Pavement Age, Fatigue

1. PENDAHULUAN

Dasar dari metoda analisis struktur memerlukan perhitungan tegangan dan regangan pada suatu perkerasan yang merupakan respons struktur terhadap kondisi pembebanan tertentu. Didalam solusi analitis tegangan dan regangan tersebut, seringkali dilakukan simplifikasi

dengan mengambil beberapa asumsi, seperti : kondisi isotropik dari setiap lapis perkerasan, kondisi *interface* antar lapis sangat kasar serta beban yang diterima struktur perkerasan yang diakibatkan roda kendaraan mempunyai arah vertikal. [1] Asumsi diatas akan menghasilkan nilai tegangan, dan regangan yang belum

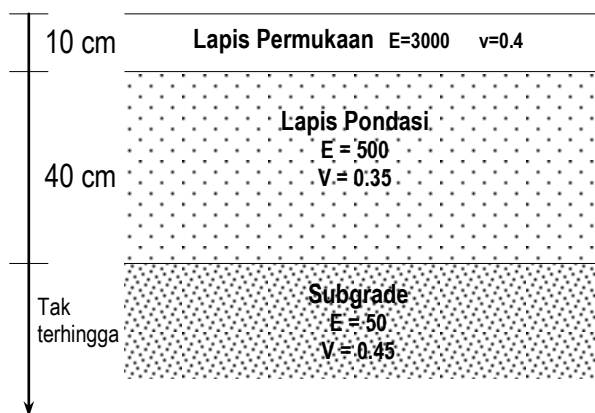
sesuai dengan kenyataan. Oleh karena itu diperlukan pengembangan asumsi kearah faktor-faktor tersebut terutama faktor tipe pembebanan.

Seiring dengan perkembangan analisis struktur yang berbasis teknologi komputer, pengembangan asumsi diatas dapat direalisasikan dengan melibatkan kondisi anisotropik, kondisi interface tidak kasar dan variasi tipe pembebanan, sehingga dihasilkan solusi tegangan dan regangan yang dapat mengakomodasi kondisi sebenarnya di lapangan. Salah satu program komputer yang dapat dipakai adalah CIRCLY yang berbasis metoda transformasi integral. [2]

Tujuan dari studi ini adalah melakukan analisis variasi pembebanan dan mengevaluasi pengaruhnya terhadap perilaku fatigue dan permanent deformation serta hubungannya dengan umur perkerasan dengan mengambil studi kasus pada Jalan Tol Jakarta-Cikampek

2. VARIASI PEMBEBANAN TEORITIS PADA STRUKTUR PERKERASAN

Struktur perkerasan teoritis yang akan ditinjau adalah struktur perkerasan lentur yang *multilayer*, elastis dan isotropis seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Struktur Perkerasan Teoritis

Dalam menganalisis variasi pembebanan, secara teoritis terdapat empat tipe pembebanan seperti terlihat pada Gambar 2 [3].

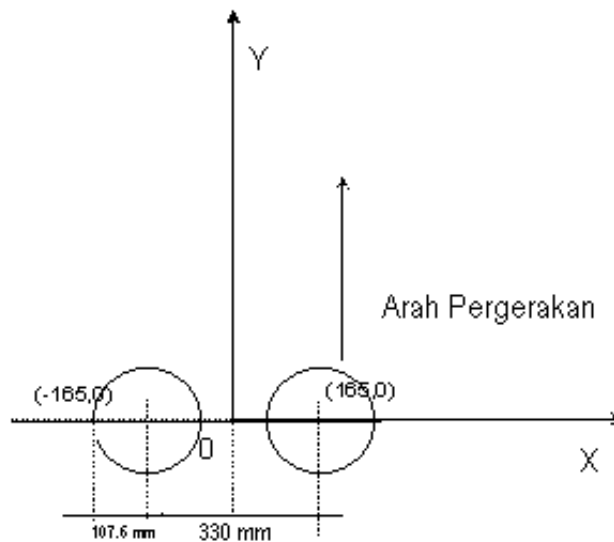
	TIPE I	TIPE II	TIPE III	TIPE IV
SKEMA PEMBEBANAN				
KETERANGAN	Beban vertikal	Kombinasi beban vertikal & geser radial memusat akibat 'cengkeraman' ban	Kombinasi beban vertikal dan beban horizontal akibat pengereman	Kombinasi beban vertikal & momen akibat kendaraan menikung

Gambar 2 Variasi Pembebanan [3]

Beban akibat roda kendaraan diasumsikan berbentuk lingkaran. Beban tipe I adalah beban arah vertikal yang saat ini secara luas dipakai pada analisis struktur perkerasan lentur. Pembebanan tipe II adalah beban tipe I yang dikombinasikan dengan tegangan geser arah radial memusat akibat 'cengkeraman' ban, yang merupakan representasi terbaik dari pergerakan kendaraan dengan kecepatan konstan [3]. Pembebanan Tipe III adalah beban tipe I yang dikombinasikan dengan tegangan arah horizontal akibat percepatan dan pengereman

kendaraan. Pembebanan tipe IV adalah beban tipe I yang dikombinasikan dengan momen pada sumbu vertikal akibat kendaraan membelok.

Setiap tipe beban seperti pada Gambar 2 mempunyai konfigurasi beban roda ganda dengan as tunggal atau *Single Axle Dual Wheel* dengan jarak antar sumbu roda sebesar 330 mm dan jari-jari bidang kontak sebesar 107.6 mm, seperti pada Gambar 3. Nilai tegangan setiap pola beban dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 3 Layout Pembebanan

Tabel 1 Nilai Tegangan Kontak [4]

	Beban Vertikal	Beban Radial	Beban Horizontal	Beban Momen
Tegangan Kontak (KPa)	550	413	275	413

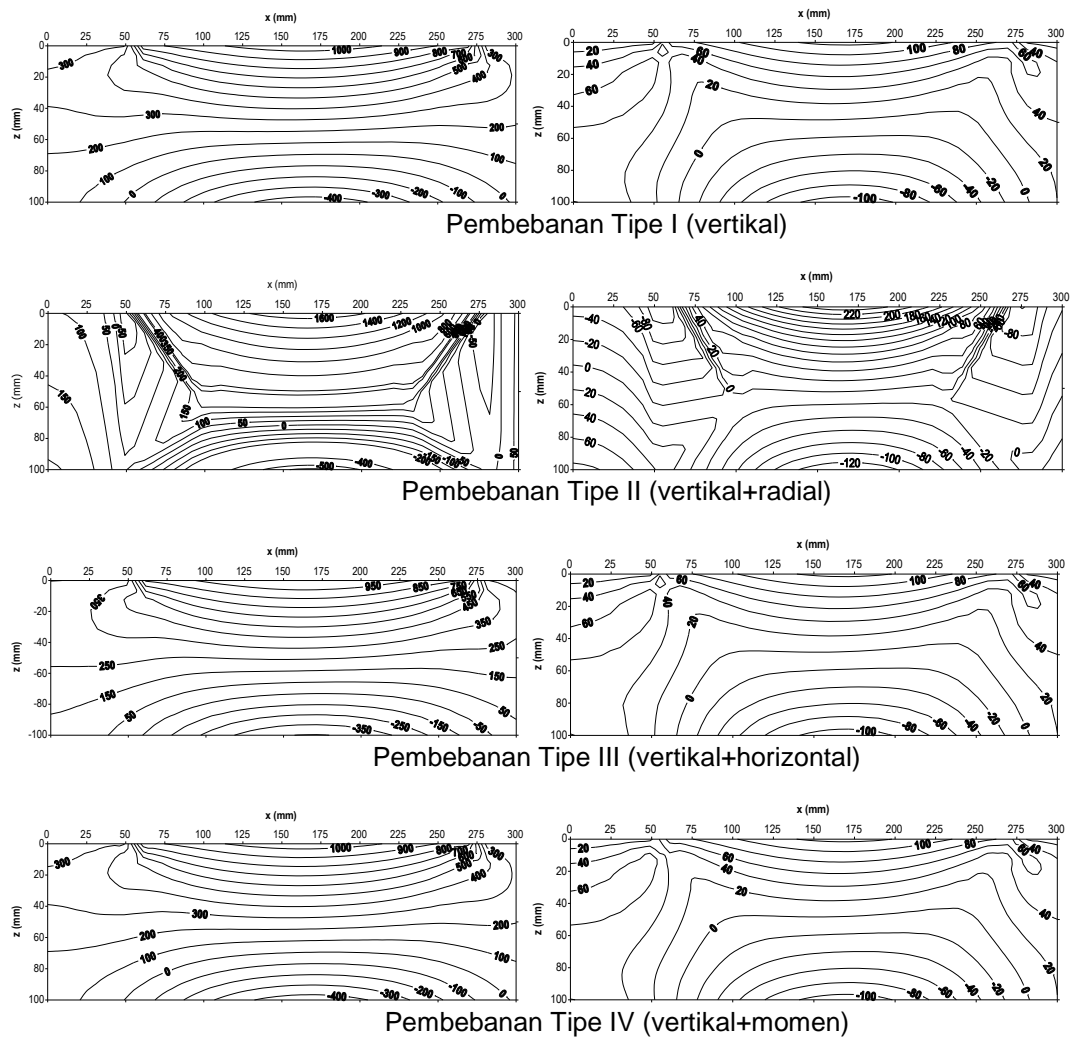
3. KONTUR TEGANGAN DAN REGANGAN AKIBAT VARIASI PEMBEBANAN

Keempat tipe pembebanan pada Gambar 2 diterapkan pada Struktur Perkerasan Isotropik Gambar 1, dan dengan bantuan program

CIRCLY didapat nilai tegangan regangan untuk setiap tipe pembebanan. Kontur tegangan dan regangan horizontal pada lapis permukaan untuk setiap tipe pembebanan dapat dilihat pada Gambar 4

Tegangan (KPa)

Regangan (microstrain)



Gambar 4 Kontur Tegangan dan Regangan Horizontal

Pada Gambar 4 kontur tegangan dan regangan untuk pembebanan tipe I, III, dan IV mempunyai pola yang sama, artinya penambahan tipe beban horizontal dan momen tidak terlalu berpengaruh terhadap tegangan regangan yang terjadi. Sedangkan pembebanan tipe II kontur tegangan dan regangan mempunyai pola yang berbeda, yaitu terjadi pola tegangan tarik pada daerah tepi roda kiri dan kanan bagian atas. Pola tegangan tarik di daerah permukaan ini, terkait dengan perilaku *fatigue*, sehingga apabila terakumulasi selama umur perkerasan, akan menyebabkan retak di lapis permukaan.

Oleh karena itu analisis terkait dengan *fatigue* akan diuraikan pada analisis berikut.

4. ANALISIS VARIASI PEMBEBANAN TERHADAP PRILAKU *FATIGUE*

Untuk menganalisis pengaruh variasi pembebanan terhadap perilaku *fatigue*, dilakukan perbandingan antar variasi berdasarkan jumlah repetisi beban kriteria *fatigue* seperti terlihat persamaan 1. [4]

$$N_f = \left(\frac{6918 \times (0.856 \times V_B + 1.08)}{S_{mix}^{0.36} \epsilon_t} \right)^5 \quad (1)$$

N_f = jumlah repetisi beban kriteria *fatigue*

V_B = kadar aspal dalam campuran dinyatakan sebagai % volume
 S_{mix} = stiffness modulus campuran
 ϵ_t = regangan tarik horizontal maksimum

Pertama-tama ditentukan terlebih dahulu tipe pembebanan yang menyebabkan regangan maksimum tertentu yang dijadikan referensi. Kemudian regangan maksimum akibat variasi

pembebanan yang lain dibandingkan dengan tipe pembebanan referensi tersebut, sehingga didapat rasio repetisi beban kriteria *fatigue* seperti pada persamaan 2, yaitu :

R_f = rasio repetisi beban kriteria fatigue
 ϵ_{tref} = regangan tarik horizontal maksimum tipe pembebanan referensi
 ϵ_t = regangan tarik horizontal maksimum

$$R_f = \left[\frac{\epsilon_{tref}}{\epsilon_t} \right]^5 \tag{2}$$

dengan mengambil pembebanan tipe I dan II sebagai referensi, maka dengan menggunakan persamaan (2) nilai rasio repetisi beban dengan kriteria *fatigue* untuk setiap variasi pembebanan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Nilai Rasio Repetisi Beban kriteria *Fatigue*

NO	VARIASI	$\square\square$ (microstrain)	R	Keterangan
1	Tipe I Beban : Vertikal	-110.2	3	Tipe II sebagai referensi
2	Tipe II Beban : Vertikal+Radial	-137.6	1	Tipe II sebagai referensi
3	Tipe III Beban : Vertikal+Horizontal	-110.8	0.97	Tipe I sebagai referensi
4	Tipe IV Beban : Vertikal+Momen	-110.6	0.98	Tipe I sebagai referensi

Dari tiga variasi pembebanan seperti yang terlihat pada Tabel 2, variasi nomor 1 mempunyai rasio yang cukup signifikan dibandingkan dengan variasi nomor 3 dan variasi nomor 4. Rasio dengan nilai 3 artinya jumlah repetisi beban tipe I adalah tiga kali lebih besar dibandingkan tipe II. Dalam pengertian umur perkerasan, pembebanan dengan mengabaikan beban arah pusat radial akan mengakibatkan perkiraan rencana umur perkerasan yang berlebihan (*over estimate*).

Variasi nomor 3 yang melibatkan beban akibat pengereman serta variasi nomor 4 yang melibatkan beban kendaraan akibat menikung, tidak berpengaruh pada jumlah repetisi beban untuk pembebanan apabila beban horizontal dan momen diabaikan. Hal ini terlihat dari nilai indeks relatifnya yang mendekati nilai 1.

4. ANALISIS UMUR SISA PERKERASAN LENTUR

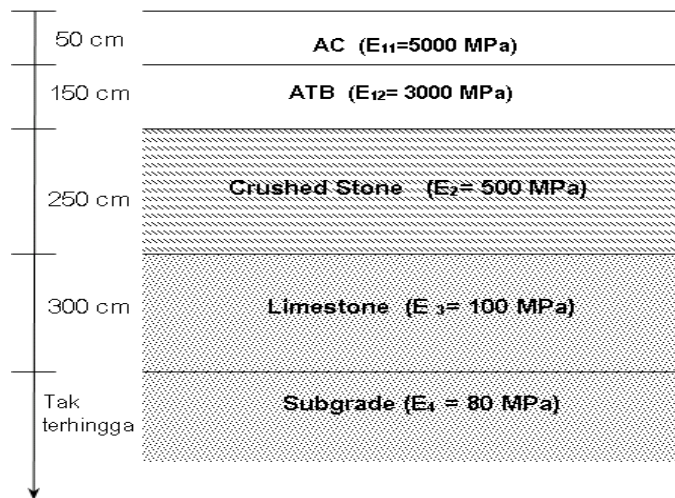
Umur sisa atau *Remaining Life* sebenarnya merupakan alat kontrol untuk mengevaluasi sampai sejauh mana posisi pembebanan lalu lintas aktual terhadap pembebanan lalu lintas rencana. Analisis yang dilakukan adalah pada tahun saat evaluasi, pembebanan lalu lintas rencana telah terlampaui atau masih tersisa pada tahun rencana, sehingga dapat menjadi bahan masukan untuk mengevaluasi perlu atau tidaknya dilakukan pelapisan ulang atau *overlay*.

Karena melibatkan pembebanan lalu lintas aktual, maka diperlukan studi kasus untuk mendukung analisis umur sisa perkerasan lentur. Studi kasus yang akan diambil adalah ruas Jalan Tol Jakarta-Cikampek pada sub ruas Bekasi Timur-Cibitung (Km.18+500–

Km.25+000), arah ke Cikampek (Jalur A), dalam rentang evaluasi dari tahun 1988 sampai dengan 2001. Jalan Tol Jakarta-Cikampek ini mempunyai umur rencana 20 tahun tetapi masih jauh dari selesainya umur rencana

tersebut, pada tahun 1995 sepanjang sub ruas ini telah dilakukan pekerjaan pelapisan ulang (*overlay*) [5].

Model struktur Perkerasan yang dilibatkan pada analisis umur sisa ini terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Geometri Perkerasan Jalan Tol Jakarta-Cikampek [5]

4.1 Analisis beban lalu lintas

Data volume lalu lintas harian yang dapat dikumpulkan terbagi dalam dua jenis, yaitu AADT dari tahun 1988 sampai dengan 1994 dan ADT (bulanan) dari tahun 1995 sampai dengan 2001 dengan klasifikasi sesuai kategori pembayaran tol.

Data jenis AADT (1988-1994) didapat dari penelitian sebelumnya dengan studi kasus Jalan Tol Jakarta-Cikampek [6]. Sedangkan data volume jenis ADT (1995-2001) didapat dari

PT. Jasa Marga. Tabel 3 berikut adalah rangkuman data volume lalu lintas dalam bentuk AADT. Data volume lalu lintas yang sudah didapatkan ini harus dikonversi ke *Equivalent Standard Axle Load* (ESAL) dengan suatu faktor ekivalen, yaitu LEF (*Load Equivalency Factors*) untuk kategori sumbu (*axle*) atau TF (*Truck Factor*) untuk kategori kendaraan. Nilai ekivalen jenis TF, komposisi lalu lintas dan faktor distribusi kendaraan berat didapat dari WIM Survey pada KM 019+875.

Tabel 3. Data Volume Lalu lintas

No	Tahun	ESAL	Kumulatif
1	1988	4.04E+05	4.04E+05
2	1989	7.36E+05	1.14E+06
3	1990	1.54E+06	2.68E+06
4	1991	2.41E+06	5.09E+06
5	1992	3.24E+06	8.33E+06
6	1993	4.35E+06	1.27E+07
7	1994	5.69E+06	1.84E+07
8	1995	7.08E+06	2.54E+07
9	1996	8.40E+06	3.38E+07
10	1997	9.80E+06	4.36E+07
11	1998	7.44E+06	5.11E+07
12	1999	8.61E+06	5.97E+07
13	2000	1.03E+07	7.00E+07
14	2001	1.12E+07	8.12E+07
TOTAL		8.12E+07	

4.2 Perhitungan Beban Repetisi Rencana (N_d)

Untuk mendapatkan nilai Beban Repetisi Rencana (N_d) perlu dihitung dulu nilai ε_t pada bagian bawah AC dan ATB dan ε_c pada bagian atas limestone dan subgrade untuk setiap variasi. Dari nilai ε_t dan ε_c ini dihitung nilai N_f dan N_d untuk setiap variasi. Nilai N_f dihitung dari

$$N_p = \left[\frac{8511}{\varepsilon_c} \right]^{7.14} \quad \dots\dots(3)$$

N_p = jumlah repetisi beban (umur perkerasan) terkait kriteria *permanent deformation*

ε_c = regangan tekan vertikal maksimum.

persamaan 1 dengan nilai $VB=6\%$ dan $Smix$ adalah nilai modulus elastis lapisan yang merupakan persamaan berdasarkan kriteria *fatigue*, sedangkan nilai N_p dihitung dari persamaan 3 yang merupakan persamaan berdasarkan kriteria *permanen deformation* [4]

Tabel 4. Variasi Model Pembebanan

No	Nama Variasi	Pembebanan
1	Variasi A	Vertikal
2	Variasi B	Vertikal+Radial
3	Variasi C	Vertikal+Horizontal
4	Variasi D	Vertikal+Momen

Dari empat variasi yang dikembangkan seperti yang terlihat pada Tabel 4, diambil nilai yang terkecil dari N_f dan N_p untuk setiap variasi

sebagai nilai N_d rencana (N_d) yang terangkum pada Tabel 5 .

Tabel 5. Nilai N_d Setiap Variasi

Variasi	Lapis	t	c	N_f	N_p	N_d
Variasi IA	AC	12.4	-	1.10E+11		9.14E+07
	ATB	61.6	-	9.14E+07		
	Limestone	-	203.5		3.77E+11	
	Subgrade	-	134.3		7.34E+12	
Variasi IB	AC	10.9	-	2.10E+11	-	5.49E+07
	ATB	68.2	-	5.49E+07	-	
	Limestone	-	208.8	-	3.14E+11	
	Subgrade	-	136.5	-	6.53E+12	
Variasi IC	AC	12.4	-	1.10E+11	-	9.14E+07
	ATB	61.6	-	9.14E+07	-	
	Limestone	-	203.5		3.77E+11	
	Subgrade	-	134.3		7.34E+12	
Variasi ID	AC	12.4	-	1.10E+11	-	9.14E+07
	ATB	61.6	-	9.14E+07	-	
	Limestone	-	203.5		3.77E+11	
	Subgrade	-	134.3		7.34E+12	
	ATB	77.98	-	2.81E+07	-	
	Limestone	-	290.7	-	2.96E+10	
	Subgrade	-	189.7	-	6.23E+11	

4.3 Analisis variasi terhadap Umur Sisa

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa umur sisa merupakan suatu parameter untuk mengevaluasi sampai sejauh mana posisi

pembebanan lalu lintas aktual terhadap pembebanan lalu lintas rencana. Selisih dari pembebanan lalu lintas rencana dengan lalu lintas aktual adalah umur sisa dari perkerasan tersebut, seperti terlihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Umur Sisa Setiap Variasi Pada Kondisi Jalan Belum Di Overlay

Variasi	Beban Lalu Lintas Rencana	Beban Lalu Lintas Aktual	Umur Sisa
(1)	(2)	(3)	(4)=(2) - (3)
Variasi A	9.14E+07	8.12E+07	1.01E+07
Variasi B	5.49E+07	8.12E+07	(*)
Variasi C	9.14E+07	8.12E+07	1.01E+07
Variasi D	9.14E+07	8.12E+07	1.01E+07

(*) Umur perkerasan sudah terlewati

Terdapat beberapa hal yang dapat dianalisis terkait dengan perhitungan umur sisa dari berbagai macam variasi seperti yang terlihat pada Tabel 6, yaitu :

- 1) Pada variasi A yaitu pembebanan arah vertikal, masih terdapat umur sisa sebesar

10 juta repetisi beban as standar berdasarkan nilai repetisi beban rencana terkait dengan kriteria *fatigue* pada lapis ATB.

- 2) Jika variasi B dianggap mewakili kondisi pembebanan yang sebenarnya di lapangan, maka program *overlay* harus dilakukan sebelum tahun 2001. Pengabaian beban geser radial memusat akan menyebabkan kerusakan jalan yang terlambat diantisipasi dengan program *overlay*.
- 3) Pengabaian beban horizontal dan momen tidak berpengaruh secara signifikan terhadap umur sisa, seperti terlihat pada variasi C dan variasi D.

5 KESIMPULAN

- 1) Pada variasi pembebanan vertikal dengan melibatkan tegangan geser radial memusat (*radial inward shear stress*), akan menaikkan nilai regangan tarik pada bagian bawah lapis aspal. Beban tipe ini merupakan representasi pembebanan dari kendaraan yang bergerak dengan kecepatan konstan.
- 2) Pembebanan dengan mengabaikan beban radial memusat akan mengakibatkan perkiraan rencana umur perkerasan yang berlebihan (*over estimate*) atau desain tebal perkerasan yang kurang (*under estimate*).
- 3) Untuk variasi pembebanan vertikal dengan melibatkan tegangan arah horizontal atau gaya momen, tidak menyebabkan kenaikan regangan tarik pada bagian bawah lapis aspal yang signifikan. Pembebanan vertikal dengan melibatkan tegangan horizontal atau momen, berturut-turut merupakan representasi dari pembebanan akibat pengereman atau kendaraan membelok pada tikungan.
- 4) Pembebanan dengan melibatkan beban horizontal atau momen, tidak berpengaruh pada perkiraan rencana umur perkerasan atau desain tebal perkerasan apabila beban horizontal dan momen tersebut diabaikan.
- 5) Akumulasi ESAL dalam rentang evaluasi dari tahun 1988-2001 adalah sebesar 8.12×10^7 pada lajur perencanaan. Perhitungan umur sisa didasarkan atas kriteria kritis yang merupakan repetisi beban rencana (N_d) minimum setiap variasi. Dari studi kasus yang diambil, kriteria kritisnya

adalah kriteria *fatigue* pada lapis ATB yang terjadi pada semua variasi.

- 6) Dari perhitungan jumlah repetisi beban rencana (N_d), Variasi A sebagai kasus yang biasanya dilakukan pada desain perkerasan lentur, mempunyai nilai N_d yang paling besar disamping Variasi C dan D. Dibandingkan dengan Variasi A, terjadi penurunan Beban Lalu lintas Rencana pada Variasi B menjadi 60% nya.
- 7) Variasi perkerasan lentur yang mewakili kondisi ruas jalan tol, adalah variasi pada kondisi pembebanan pada variasi B (beban vertikal dikombinasikan dengan beban radial memusat) namun masih perlu studi lanjutan dengan data yang lebih lengkap pada jalan tol lainnya untuk menguji model ini

DAFTAR PUSTAKA

- AUSTROADS (1992), *Pavement Design*, Australian Road Research Board, Sydney
- Brown, S.F., Pappin, J.W. (1982) Use of A Pavement Test Facility for The Validation of Analytical Design Methods. Proceeding Fifth International Conference on The Structural Design of Asphalt Pavement, Volume 1. University of Michigan.
- Gerrard, C.M., Wardle, L.J. (1980) Rational Design of Surface Pavement Layer. Australian Road Research. Vol 10 No. 2.
- JASA MARGA, P.T. (2001), Volume Kendaraan pada Jalan Tol di Indonesia. PT. Jasa Marga Persero. Jakarta
- Suwendi (1995), Pengkajian Keutuhan Struktur Perkerasan Jalan Tol Jakarta-Cikampek, Thesis Program Sistem dan Teknik Jalan Raya Institut Teknologi Bandung.
- Wardle, L J (1977), Program Circlly. A Computer Program for the Analysis of Multiple Complex Circular Loads on Layered Anisotropic Media. Users Manual. CSIRO Division of Applied Geomechanics (Geomechanics Program No.2). Melbourne Australia