

MODEL KERUNTUHAN PERKERASAN LENTUR

Oleh :
N o n o, Dadang AS

RINGKASAN

Pada umumnya metoda perencanaan perkerasan yang digunakan di Indonesia adalah adopsi dari metoda perencanaan AASHTO atau TRL. Sebagaimana diketahui bahwa kondisi lingkungannya jauh berbeda dengan di Indonesia sehingga beberapa model yang digunakan pada metoda perencanaan tersebut harus diadaptasikan.

Makalah ini membahas hasil penelitian tentang model keruntuhan perkerasan lentur yang sesuai dengan tipe perkerasan dan kondisi lingkungan Indonesia. Penelitian dilakukan pada beberapa ruas jalan di Propinsi Jawa barat dan Banten. Beberapa kesimpulan hasil penelitian yang diperoleh adalah sebagai berikut:

- Model keruntuhan retak (lapis beraspal); $\epsilon_h = 6153,1 (N)^{-0,2329}$
- Model Keruntuhan deformasi (tanah dasar);
 - $\epsilon_v = 46211(N)^{-0,3051}$; untuk kedalaman alur 10 mm
 - $\epsilon_v = 65940(N)^{-0,3232}$; untuk kedalaman alur 15 mm
 - $\epsilon_v = 93491(N)^{-0,3393}$; untuk kedalaman alur 20 mm

Untuk ketiga model keruntuhan deformasi di atas, sebaiknya digunakan sesuai dengan kelas jalan

SUMMARY

Generally, the pavement design methods that are used in Indonesia are adopted from the pavement design methods from AASHTO or TRL. As we know that environment in Indonesia is different so that any model used on the pavement design methods should be adapted.

This paper discussed the result of research the fatigue model for flexible pavement which is appropriate with type of pavement and environment in Indonesia. Investigate have conducted in several road link in West Java and Banten Provinces. Some conclusion from the research, are as follow:

- The fatigue cracking models (the asphalt mixture layer); $\epsilon_h = 6153, 1 (N)^{-0,2329}$
- The fatigue deformation models (subgrade);
 - $\epsilon_v = 46211(N)^{-0,3051}$; for ruth depth is 10 mm
 - $\epsilon_v = 65940(N)^{-0,3232}$; for ruth depth is 15 mm
 - $\epsilon_v = 93491(N)^{-0,3393}$; for ruth depth is 20 mm

For three model of fatigue deformation above, should be used appropriate with road class.

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Metode perencanaan perkerasan jalan pada dasarnya terbagi atas Metode Empiris (Empirical Method), Metode Analitis (Analytical Method) atau Mechanistic Method), dan gabungan dari kedua metode tersebut, yaitu Metode Analitis-Empiris (Analytical-Empirical atau Mechanistic-Empirical Method).

Metode empiris adalah metode yang didasarkan atas hasil empiris yang kemudian dikembangkan lebih lanjut, biasanya dalam bentuk nomogram atau grafik, sehingga perhitungan dapat dilakukan dengan mudah. Metode analitis adalah metode yang dilakukan dengan menganalisis struktur perkerasan secara analitis, dimana perhitungannya pada umumnya lebih rumit dan biasanya dilakukan dengan bantuan komputer.

Prinsip dasar kedua metoda tersebut, didasarkan pada kriteria keruntuhan, yaitu keruntuhan retak pada lapis beraspal dan keruntuhan deformasi pada tanah dasar.

Metoda perencanaan perkerasan, khususnya untuk perkerasan lentur, yang biasa digunakan, baik metoda perencanaan tebal lapis tambah (overlay) maupun metoda perkerasan baru masih mengadopsi model keruntuhan dari luar. Untuk itu, pada tahun 2003 penulis telah melakukan penelitian tentang model keruntuhan melalui perhitungan balik dengan menggunakan Program Elmod.

1.2. Pembatasan Masalah

Untuk mendapatkan model keruntuhan perkerasan lentur, baik keruntuhan pada lapisan beraspal maupun keruntuhan pada tanah dasar pada penelitian ini adalah melalui perhitungan balik dengan menggunakan program Elmod.

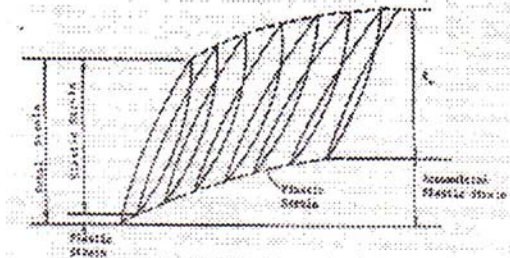
1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan model keruntuhan perkerasan lentur dan diharapkan dapat bermanfaat bagi perencana konstruksi jalan. Yaitu sebagai masukan dalam pemilihan metoda perencanaan perkerasan jalan, baik metoda analitis ataupun metoda empiris, agar memper timbangkan kriteria keruntuhan yang sesuai dengan lingkungan di Indonesia.

II. KAJIAN PUSTAKA

2.1. Keruntuhan Perkerasan Lentur

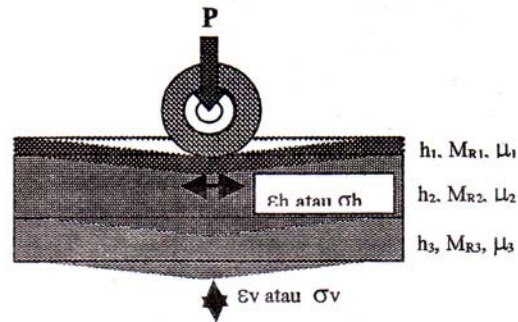
Sesuai dengan sebutannya, perkerasan lentur memiliki sifat lentur atau elastis. Namun akibat pelayanan lalu-lintas atau akibat beban lalu-lintas berulang akan menimbulkan tegangan elastis. Ilustrasi terjadinya tegangan elastis ditunjukkan pada Gambar 1 (Huang Y Yuah, 2004).



Gambar 1. Regangan yang terjadi pada lapis beton aspal akibat beban berulang

Pada Gambar 1 menunjukkan bahwa perkerasan lentur apabila dibebani dengan beban berulang akan menimbulkan tegangan elastis dan plastis. Tegangan elastis terjadi pada perkerasan apabila setelah dibebani akan kembali ke bentuk semula. Sedangkan tegangan plastis adalah perkerasan beton aspal apabila diberi beban tidak seutuhnya kembali ke bentuk semula.

Pada kurun waktu atau jumlah repetisi beban lalu-lintas tertentu sesuai dengan kemampuannya maka perkerasan tersebut akan mengalami kelelahan atau runtuh. Sebagaimana diketahui bahwa keruntuhan perkerasan beraspal ada dua, yaitu keruntuhan pada lapisan beraspal dan pada tanah dasar sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Ilustrasi Respon Perkerasan Terhadap Beban Lalu-lintas

Respon terhadap beban kendaraan pada lapis beraspal adalah dicerminkan dengan regangan horizontal (ϵ_H) dan pada tanah dasar dengan regangan vertikal (ϵ_V).

Tegangan/regangan tarik horizontal ijin lapisan beraspal sangat tergantung dari karakteristik campuran yang kita disain. Beberapa negara telah dikembangkan model atau hubungan antara jumlah repetisi beban (umur layan) dengan karakteristik campuran sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan 1 dan 2. Sedangkan model keruntuhan pada tanah dasar ditunjukkan pada Persamaan 3 dan 4.

Model keruntuhan retak

- Shell

$$N = \left[\frac{6918 - V_B + 1.08}{S_{mix}^{0.36} \mu \epsilon_h} \right]^5 \quad (1)$$

- Austoroads 1992

$$N = \left[\frac{6918 (0.856 V_B + 1.08)}{S_{mix}^{0.36} \mu \epsilon_h} \right]^5 \quad (2)$$

dimana:

N = jumlah repetisi beban, Esa

V_B = volume aspal, %

$\mu \epsilon_h$ = regangan horizontal, mikrostrains

$S_{mix} = M_R = E$

= kekakuan campuran, MPa

Yang dimaksud kondisi kritis untuk lapis beraspal berdasarkan Manual Elmod adalah apabila ruas-ruas jalan telah terjadinya retak awal atau diperkirakan dengan tingkat kerusakan "0" (lebar celah retak < 1 mm dan penyebarannya/m² < 10 %).

Model keruntuhan deformasi

- TRRL

$$N = 6,18 \times 10^{-8} (\epsilon_v)^{-3,95} \quad (3)$$

- Austoroads 1992

$$N = \left[\frac{8511}{\mu \epsilon_v} \right]^{7,14} \quad (4)$$

dimana:

N = jumlah repetisi beban, Esa

$\mu \epsilon_v$ = regangan horizontal, mikrostrains

Keruntuhan deformasi dicerminkan dengan terjadinya alur pada jejak roda atau terjadinya deformasi permanen, yaitu deformasi yang tidak disertai adanya pergeseran dari lapisan beraspal.

Adapun besarnya kedalaman alur yang dikatakan bahwa perkerasan

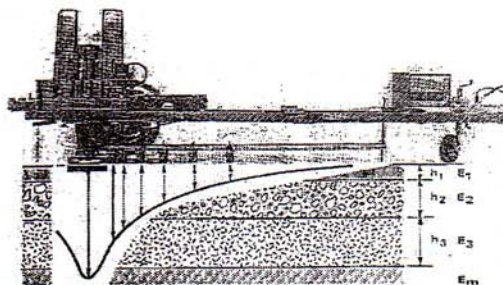
tersebut sudah dalam kondisi kritis atau menjelang runtuh adalah 10 mm untuk di Inggris (berdasarkan LR 1132), sedangkan berdasarkan AASHTO adalah sedalam 20 mm.

2.2. Pengujian Lapangan

Untuk mendapatkan model keruntuhan perkerasan lentur pengujian lapangan yang dilakukan adalah survai kondisi, survai lalu-lintas, pengujian lendutan dengan alat Falling Weight Deflectometer (FWD) dan pembuatan lubang uji untuk mengetahui jenis dan tebal lapisan konstruksi perkerasan.

Ilustrasi pengukuran lendutan dengan alat Falling Weight Deflectometer (FWD) ditunjukkan pada Gambar 3.

Alat FWD memiliki 7 deflector, yang mana melalui rekaman lendutan dengan 7 deflector tersebut dapat memprediksi bagian yang lemah dari struktur perkerasan, yaitu apabila bentuk cekung lendutan relatif datar maka kualitas lapis beton aspal adalah relatif baik, namun apabila bentuknya tajam maka kualitas lapis beton aspal adalah rendah.



Gambar 3. Contoh bentuk cekung lendutan pengujian dengan FWD

Beban yang digunakan FWD untuk mengukur lendutan adalah beban dinamis. Beban dinamis ini merupakan beban pelat (massa) yang dijatuhkan (falling weight) pada ketinggian tertentu ke permukaan jalan melalui pelat dasar bundar berdiameter tertentu, sehingga akan menimbulkan gaya dan reaksi dari jalan berupa tegangan dibawah pelat dasar atau dipermukaan jalan dan penurunan permukaan jalan (lendutan).

Beban yang digunakan adalah sebagai simulasi beban sumbu standar (satu kelompok roda sumbu belakang kendaraan standar), yaitu 8,2 ton, maka beban setengah sumbu roda kendaraan adalah 4,1 ton atau setara dengan tegangan sebesar 580 kPa.

Adapun jarak deflector didasarkan terhadap tebal total perkerasan [Danida & Puslitbang Jalan (1990 a), Technical Report No. 2, FWD Calibration Report, Bandung Indonesia] :

- Untuk tebal total perkerasan \leq 500 mm (tipis), digunakan jarak deflector :
0; 200; 300; 450; 600; 900; 1200 mm
- Untuk tebal total perkerasan 300 – 700 mm (normal), digunakan jarak deflector :
0; 300; 600; 750; 900; 1200; 1500 mm
- Untuk tebal total perkerasan $>$ 700 mm (tebal), digunakan jarak deflector:

0; 300; 600; 900; 1200; 1500; 1800 mm

2.3. Program ELMOD version 3.1. (Dynatest Engineering A/S 1989)”

ELMOD adalah suatu paket program komputer untuk mengevaluasi modulus elastisitas tiap lapis perkerasan dan tanah dasar serta mendesain tebal lapis tambah atau umur sisa pelayanan. Metode yang digunakan adalah metode Analitis-Empiris (Analytical-Empirical atau Mechanistic-Empirical Method).

Pada metode analitis-empiris, sesuai dengan namanya terbagi atas 2 tahap, yaitu pertama, menghitung reaksi perkerasan (pavement response) meliputi lendutan, tegangan atau regangan pada tiap lapis perkerasan dengan menggunakan metode analitis berdasarkan prinsip-prinsip elastisitas. Kedua, melakukan prediksi terhadap kinerja perkerasan (pavement performance) dengan cara melakukan pengamatan terhadap perilaku struktur perkerasan akibat beban lalu lintas, jenis bahan yang digunakan, dan keadaan lingkungan.

Dalam ruang lingkup teori elastisitas untuk dapat menghitung tegangan atau regangan tersebut, terlebih dahulu harus diketahui perilaku dari tiap lapis perkerasan yang dinyatakan oleh parameter-parameter, yaitu Modulus elastisitas (E) dan Angka poisson (μ).

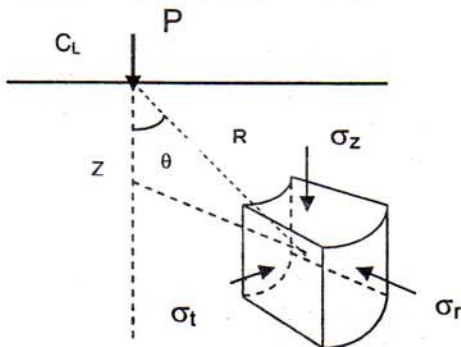
Ada beberapa cara untuk dapat menentukan parameter tersebut,

salah satu diantaranya adalah dengan melakukan analisa lendutan atau cekung lendutan (deflection bowl) hasil pengujian lapangan.

Prinsip dasar program ELMOD adalah mengikuti persamaan Boussinesq dengan uraian sebagai berikut :

(1) Persamaan Boussinesq untuk beban titik (a point load)

Persamaan-persamaan Boussinesq untuk menghitung tegangan normal (normal stresses), regangan normal (normal strains), dan penurunan/lendutan (displacements) dengan asumsi bahan perkerasan dianggap seragam (homogeneous), sifat sama untuk segala arah (isotropic), dan elastis linier (linier elastic), dengan notasi-notasi yang digunakan pada persamaan berikut dapat dilihat pada Gambar 4 (P. Ullidtz, 30-33)



Gambar 4. Notasi-notasi koordinat polar dalam penggunaan persamaan Boussinesq

Keterangan :

P : Point load

E : Young's modulus

μ : Poisson's ratio

z : Vertical

r : Radial

t : Tangensial

σ : Normal Stress

ϵ : Normal Strain

d : Displacement

- Tegangan Normal :

$$\sigma_z = 3P/(2\pi R^2)\cos^3\theta \quad (1)$$

$$\sigma_r = P/(2\pi R^2)[3 \cos \theta \sin^2\theta - (1-2\mu)/(1+\cos\theta)] \quad (2)$$

- Regangan Normal :

$$\epsilon_z = (1+\mu)P/(2\pi R^2 E)(3\cos^3\theta - 2\mu\cos\theta) \quad (3)$$

$$\epsilon_r = (1+\mu)P/(2\pi R^2 E)[-3 \cos^3\theta + (3-2\mu)\cos\theta - (1-2\mu)/(1+\cos\theta)] \quad (4)$$

- Penurunan/lendutan :

$$d_z = (1+\mu)P/(2\pi R E)[2(1-\mu) + \cos^2\theta] \quad (5)$$

$$d_r = (1+\mu)P/(2\pi R E)[\cos\theta \sin\theta - ((1-2\mu) \sin\theta / (1+\cos\theta))] \quad (6)$$

(2) Persamaan Boussinesq pada C_L akibat beban titik (a point load)

Dari persamaan-persamaan (1), (3), dan (5), dengan $\theta = 0^\circ \rightarrow R=Z$ didapat :

$$\sigma_z = 3P / 2\pi Z^2 \quad (7)$$

$$\sigma_r = (1-\mu) (3-2\mu) P / (2\pi Z^2 E) \quad (8)$$

$$d_r = (1-\mu) (3-2\mu) P / (2\pi Z E) \quad (9)$$

(3) Persamaan Boussinesq pada pusat beban akibat beban yang didistribusikan seragam melalui daerah lingkaran. Melalui integrasi didapat persamaan-persamaan sebagai berikut :

$$\sigma_z = \sigma_0 [1 - 1/\{1 + (a/z)^2\}^{3/2}] \quad (10)$$

$$\sigma_r = \sigma_0 \left[\frac{(1+2\mu)/2 - (1+\mu)}{\{1 + (a/z)^2\}^{1/2}} + \frac{1}{2} \{1 + (a/z)^2\}^{3/2} \right] \quad (11)$$

$$\varepsilon_z = \frac{(1+\mu)\sigma_0/E \left[\frac{-z/a}{\{1 + (z/a)^2\}^{3/2}} - (1-2\mu) \left\{ \frac{z/a}{\{1 + (z/a)^2\}^{1/2}} - 1 \right\} \right]}{\quad} \quad (12)$$

$$\varepsilon_r = \frac{(1+\mu)\sigma_0/2E \left[\frac{-z/a}{\{1 + (z/a)^2\}^{3/2}} - (1-2\mu) \left\{ \frac{z/a}{\{1 + (z/a)^2\}^{1/2}} - 1 \right\} \right]}{\quad} \quad (13)$$

$$d_z = \frac{(1+\mu)\sigma_0 a/E \left[\frac{1}{\{1 + (z/a)^2\}^{1/2}} + (1-2\mu) \left\{ \frac{1}{\{1 + (z/a)^2\}^{1/2}} - \frac{z/a}{\{1 + (z/a)^2\}^{1/2}} \right\} \right]}{\quad} \quad (14)$$

dimana :

a = jari-jari lingkaran beban

σ_0 = tegangan normal pada permukaan

Tegangan horisontal (ε_r) dapat dihitung dengan menggunakan hukum Hook untuk kasus tiga dimensi :

$$\varepsilon_r = \varepsilon_t = \frac{1}{E} \left[\frac{(1-\mu)}{2\mu} (\sigma_z - E\varepsilon_z) - \mu\sigma_z \right] \quad (13a)$$

Cara lain untuk menghitung regangan horisontal, yaitu pertama dicari jari-jari kurva (the radius of curvature) = R

$$R = \frac{Ea}{\{(1-\mu^2)\sigma_0\} / [1 + \{1 + 3/2(1-\mu)\} \frac{z}{a} \{1 + (z/a)^2\}^{5/2}]} \quad (13b)$$

$$\text{Maka : } \varepsilon_r = (z/2) / R$$

(4) Lendutan permukaan (d_0) dan Modulus elastisitas permukaan (E_0)

- Persamaan lendutan permukaan pada pusat beban akibat beban terbagi rata melalui daerah lingkaran :

Dari pers. (14), dengan $z = 0$, maka $d_z \rightarrow d_0(0)$ dan $E \rightarrow (E_0(0))$, didapat :

$$\begin{aligned} d_0(0) &= \frac{(1+\mu)\sigma_0 a}{E_0(0)} \{1 + (1-2\mu)\} \\ &= \frac{(1+\mu)\sigma_0 a}{E_0(0)} \{2(1-\mu)\} \\ d_0(0) &= \frac{2(1-\mu)\sigma_0 a}{E_0(0)} \quad (15) \end{aligned}$$

Atau dari P.Ullidtz, 33 :

$$d_0 = f(1-\mu^2)\sigma_0 a/E$$

dimana $f = 2$ (untuk "the uniformly distributed load),

maka didapat :

$$\begin{aligned} d_0 &= \frac{2(1-\mu)\sigma_0 a}{E} \rightarrow \\ d_0(0) &= \frac{2(1-\mu)\sigma_0 a}{E_0(0)} \quad (15a) \end{aligned}$$

- Persamaan lendutan permukaan pada jarak r dari pusat beban akibat beban terbagi rata melalui daerah lingkaran :

Dari persamaan umum (5), dengan $z = 0$; $\theta = 90^\circ$, dan $P = \sigma_0 \pi a^2$,

maka

$R = r$, $d_z \rightarrow d_0(r)$ dan

$E \rightarrow E_0(r)$, didapat :

$$\begin{aligned} d_0(r) &= \frac{(1+\mu)P}{(2\pi r E)} \times [2(1-\mu) + \cos^2\theta] \\ &= \frac{(1+\mu)\sigma_0 \pi a^2}{(2\pi r E_0(r))} \times [2(1-\mu)] \\ d_0(r) &= \frac{(1-\mu^2) \times (\sigma_0 a^2)}{(r E_0(r))} \quad (16) \end{aligned}$$

Atau dari P. Ullidtz, 39 :

$$E = \frac{P(1-\mu^2)}{(\pi r d_0(r))}$$

maka didapat :

$$d_0(r) = \frac{(1-\mu^2)(\sigma_0 a^2)}{(rE)} \quad (16a)$$

- Persamaan modulus elastis permukaan (E_0) pada pusat beban:

Dari persamaan (5), didapat :

$$E_0(0) = \frac{2(1-\mu^2)\sigma_0 a}{d_0(0)} \quad (17)$$

- Persamaan Modulus elastisitas permukaan (E_0) pada jarak r dari pusat beban :

Dari persamaan (16), didapat :

$$E_0(r) = \frac{(1-\mu^2)\sigma_0 a^2}{rd(r)} \quad (18)$$

Perhitungan tegangan, regangan, dan lendutan tersebut diatas dengan menggunakan persamaan Boussinesq, hanya berlaku untuk perkerasan satu lapis atau satu jenis bahan. Sedangkan untuk lebih dari satu lapis/jenis bahan digunakan bantuan metode tebal ekuivalen (MET = Method of equivalent thickness).

Prinsip metode tebal ekuivalen yang diperkenalkan oleh N. Odemark, adalah mengubah suatu sistem satu lapis dengan modulus berbeda kedalam sistem ekuivalen dimana semua lapisan mempunyai modulus sama, yang mana kemudian persamaan Boussinesq dapat digunakan. Dari P. Ullidtz, 47 :

$$h_e = h_1[E_1/E_2[1-\mu_2^2]/(1-\mu_1^2)]^{1/3} \quad (19)$$

dimana:

h_e = tebal ekuivalen

f = faktor koreksi

= 0,8 untuk sistem "multy layer"

= 0,9 untuk sistem dua lapis

= 1,0 untuk lapis ke satu

2.5. Hipotesa

Kekuatan struktur perkerasan akan dipengaruhi faktor lalu lintas dan lingkungan. Apabila kemampuan perkerasan yang dicerminkan dengan regangan ijin vertikal pada tepi atas tanah dasar dan regangan ijin tarik pada bagian tepi bawah lapisan beraspal dilampaui maka perkerasan tersebut akan mengalami kerusakan atau runtuh.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Umum

Sesuai hasil kajian pustaka, untuk pembuatan model keruntuhan perkerasan lentur, yaitu keruntuhan pada lapis beraspal dan tanah dasar, pada pengkajian ini dilakukan melalui pengujian di lapangan. Jenis pengujian lapangan yang dilakukan mencakup survai kondisi, pembuatan lubang uji (test-pit), survai lalu-lintas dan pengujian lapangan dengan alat FWD.

Urutan/langkah perhitungan dibuat dalam bentuk bagan alir sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Bagan alir penelitian

Penentuan lokasi pengujian untuk mendapatkan dua kriteria keruntuhan tersebut adalah:

- Untuk model keruntuhan pada lapis beraspal dilakukan pada ruas-

ruas jalan yang mengalami kondisi kritis dan yang dilalui jumlah lalu lintas (ESA) yang bervariasi, yaitu ditentukan dengan terjadinya retak awal atau diperkirakan pada kondisi tingkat kerusakan "0" (lebar celah retak < 1 mm dan penyebarannya/m² < 10 %).

- Sedangkan untuk keruntuhan pada tanah dasar dilakukan pada ruas-ruas jalan yang mengalami kerusakan berupa alur dengan kedalaman 10; 15; dan 20 mm dan yang dilalui jumlah lalu lintas (ESA) yang bervariasi.

Pengujian dilakukan pada ruas-ruas jalan (pada kondisi kritis) dengan jumlah lalu lintas (ESA) yang bervariasi di daerah propinsi Jawa Barat & Banten.

3.2. Evaluasi Data

Data hasil pengujian FWD dan tebal lapis perkerasan yang didapat kemudian dihitung dengan menggunakan program komputer ELMOD untuk mendapatkan nilai modulus elastisitas dan regangan atau tegangan pada kondisi kritis, selanjutnya dihitung juga jumlah lalu lintas (AE18KSAL) dari pelapisan yang terakhir sampai dengan saat pengujian pada masing-masing lokasi. Selanjutnya untuk memperoleh model keruntuhan retak dan deformasi permanen adalah dianalisis dengan statistik, yaitu menggunakan analisa regresi.

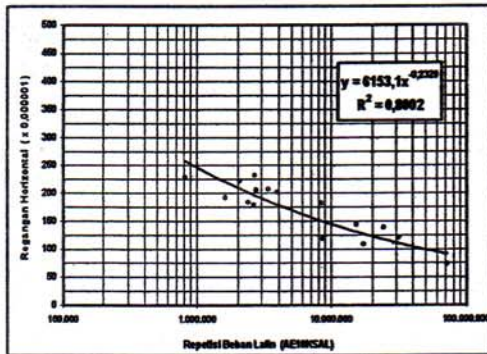
IV. HASIL PENGUJIAN

4.1. Model Keruntuhan Retak

Berdasarkan hasil evaluasi terhadap hasil pengujian pada beberapa lokasi yang terpilih diperoleh hubungan antara regangan horizontal (ϵ_h) pada lapis beraspal dengan lalu-lintas seperti ditunjukkan pada Tabel 1 dan Gambar 6.

Tabel 1.
Hubungan Regangan Horizontal Dengan Lalu-lintas

No	Ruas		Sta - sta	Regangan Horizontal (ϵ_h)	Lalu lintas (AE18KSAL)
	No	Nama			
1	003	Tangerang-Serang (2003)	31,567-31,391	120	31.345.847
2	012	Cirebon-Karangampel (2003)	9,236-0,240	191	1.603.375
3	013	Cirebon-Losari (2003)	9,523-9,504	139	24.394.633
4	015	Cawi-Bogor (2003)	65,582-64,821	144	15.250.477
5	016	Cianjur-Cawi (2003)	74,545-74,744	206	3.355.699
6	017	Padalarang-Cianjur (2003)	57,105-57,512	179	2.622.882
7	023	Kadipaten-Palimanan (2003)	24,446-24,508	108	17.190.816
8	067	Cirebon-Kuningan (2003)	18,658-18,658	182	8.323.200
9	070	Kadipaten-Jatibarang (2003)	68,439-68,230	231	2.653.687
10	071	Bogor-Parung (2003)	36,408-46,111	119	8.587.959
11	073	Karangampel-Indramayu (2003)	38,215-38,215	229	815.871
12	076	Pamanukan-Subang (2003)	152,602-153,253	205	2.746.319
13	101	Tangerang-Serpong (2003)	44,656-44,902	74	72.047.732
14	067	Cirebon-Kuningan (1996)	14,097-14,504	202	3.914.072
15	075	Jl.Cagak-Subang (1996)	151,741-151,878	184	2.380.455
16	076	Subang-Pamanukan (1996)	145,566-145,567	222	2.071.778



Gambar 6. Hubungan Regangan Horizontal dengan Lalu-lintas.

Berdasarkan analisa regresi dari data pada Tabel 1, maka diperoleh model keruntuhan lapis beraspal sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6. Model keruntuhan lapis beraspal tersebut adalah sebagai berikut :

$$\epsilon_h = 6153,1(N)^{-0,2329} \quad (20)$$

$$(R^2 = 0,8002)$$

dimana:

ϵ_h = Regangan horizontal yang diijinkan pada tepi bawah lapisan beraspal.

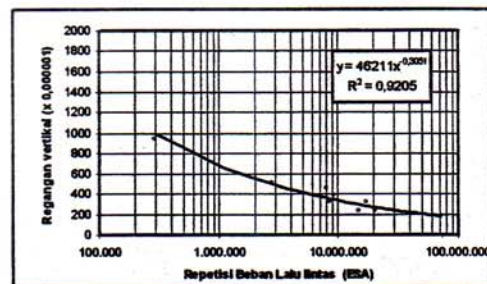
N = Repetisi beban lalu-lintas (AE18KSAL).

4.2. Model Keruntuhan Deformasi

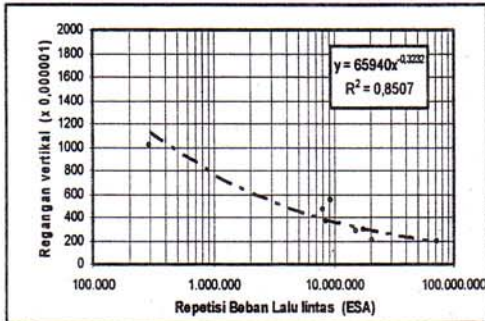
Regangan vertikal (ϵ_v) untuk kedalaman alur 10, 15 dan 20 mm berdasarkan hasil pengujian pada beberapa lokasi ditunjukkan pada Tabel 2 dan Gambar 7, 8 dan 9.

Tabel 2. Hubungan Regangan Vertikal Dengan Lalu-lintas

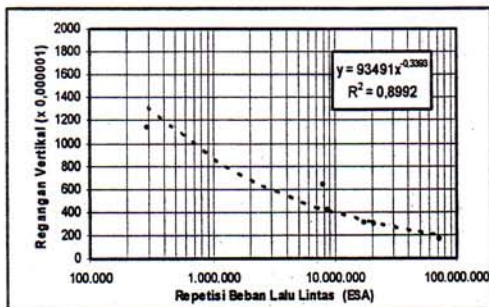
No	Ruas		Sta - sta	Regangan Horizontal (ϵ_v)	Lalu lintas (AE18KSAL)
	No	Nama			
Kedalaman Alur 20 mm					
1	023	Kadipaten-Palimanan (2003)	24,303-44,676	73	17.190.816
2	045	Cianjur-Sukabumi (2003)	73,158-73,158	216	7.951.028
3	101	Tangerang-Serpong (2003)	44,004-44,009	32	72.047.732
4	077	Kaliati-Sadang (1997)	128,594-128,594	162	289.120
5	101	Tangerang-Serpong (1997)	44,731-44,730	151	20.465.683
6	104	Parung-Serpong (1997)	145,213-145,211	228	8.502.044
Kedalaman Alur 15 mm					
1	023	Kadipaten-Palimanan (2003)	24,460-44,692	81	17.190.816
2	045	Cianjur-Sukabumi (2003)	73,141-73,130	93	7.951.028
3	101	Tangerang-Serpong (2003)	44,030-43,967	36	72.047.732
4	077	Kaliati-Sadang (1997)	128,590-128,589	154	289.120
5	101	Tangerang-Serpong (1997)	44,745-44,743	51	20.465.683
6	104	Parung-Serpong (1997)	145,197-145,195	250	8.502.044
7	013	Losari-Cirebon (1997)	10,350-10,349	257	14.738.816
8	023	Cirebon-Kadipaten (1997)	44,287-44,288	210	9.233.659
Kedalaman Alur 10 mm					
1	023	Kadipaten-Palimanan (2003)	24,470-24,470	110	17.190.816
2	045	Cianjur-Sukabumi (2003)	73,118-73,118	106	7.951.028
3	101	Tangerang-Serpong (2003)	44,038-44,038	35	72.047.732
4	077	Kaliati-Sadang (1997)	128,496-128,498	132	289.120
5	101	Tangerang-Serpong (1997)	44,762-44,760	55	20.465.683
6	104	Parung-Serpong (1997)	145,220-145,218	214	8.502.044
7	SMD	Jl. By Pass Sumedan (1997)	0,114-0,090	148	2.734.833
8	013	Losari-Cirebon (1997)	10,333-10,331	208	14.738.816
9	023	Cirebon-Kadipaten (1997)	44,392-44,395	114	9.233.659



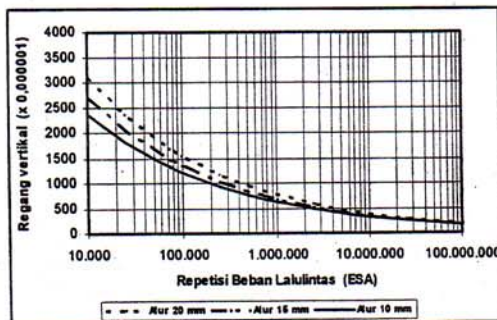
Gambar 7. Hubungan Regangan Vertikal dengan Lalu-lintas (untuk kedalaman alur 10 mm)



Gambar 8. Hubungan Regangan Vertikal dengan Lalu-lintas (untuk kedalaman alur 15 mm)



Gambar 9. Hubungan Regangan Vertikal dengan Lalu-lintas (untuk kedalaman alur 20 mm)



Gambar 10. Gabungan Hubungan Regangan Vertikal dengan Lalu-lintas (untuk kedalaman alur 10, 15 dan 20 mm)

Dari data yang ditunjukkan pada Tabel 2 selanjutnya dengan menggunakan analisa regresi maka diperoleh model keruntuhan deformasi sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7, 8, dan 9. Model keruntuhan deformasi dengan kriteria kedalaman alur 10, 15 dan 20 ditunjukkan pada persamaan 21, 22 dan 23.

o Untuk kedalaman alur 10 mm
 o Untuk kedalaman alur 10 mm

$$\varepsilon_v = 46211(N)^{-0,3051} \quad (21)$$
 $(R^2 = 0,9205)$

o Untuk kedalaman alur 15 mm

$$\varepsilon_v = 65940(N)^{-0,3232} \quad (22)$$
 $(R^2 = 0,8507)$

o Untuk kedalaman alur 20 mm

$$\varepsilon_v = 93491(N)^{-0,3393} \quad (23)$$
 $(R^2 = 0,8992)$

Dimana :

ε_v = Regangan vertikal yang diijinkan pada tepi atas tanah dasar.

N = Repetisi beban lalu-lintas (AE18KSAL).

Bila memperhatikan Gambar 10, terlihat bahwa model keruntuhan untuk ke tiga kriteria, yaitu kedalaman alur 10, 15 dan 20 mm, memperlihatkan perbedaan yang mencolok untuk repetisi beban lalu-lintas < 1.000.000, sedangkan untuk repetisi beban lalu-lintas > 1.000.000 adalah perbedaannya relatif kecil atau hampir sama.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Hasil pengujian serta evaluasi dengan menggunakan program Elmod dan analisa statistik atau analisa regresi dapat disimpulkan sebagai berikut:

- o Model keruntuhan retak pada lapis beraspal adalah:

$$\varepsilon_h = 6153,1 (N)^{-0,2329} ; (R^2 = 0,8002)$$

- o Model keruntuhan untuk tanah dasar, yaitu keruntuhan deformasi adalah:

- Untuk kedalaman alur 10 mm
 $\varepsilon_v = 46211(N)^{-0,3051} ; (R^2 = 0,9205)$

- Untuk kedalaman alur 15 mm
 $\varepsilon_v = 65940(N)^{-0,3232} ; (R^2 = 0,8507)$

- Untuk kedalaman alur 20 mm
 $\varepsilon_v = 93491 (N)^{-0,3393} ; (R^2 = 0,8992)$

5.2. Saran

Apabila model keruntuhan perkerasan lentur ini akan digunakan, sebaiknya untuk ke tiga model keruntuhan deformasi disesuaikan dengan kelas jalan.

DAFTAR PUSTAKA

- AUSTRROADS (1992). Pavement Design, A Guide to the Struktural Design of Road Pavements. Sydney.
- Huang Y Yuah (2004). Pavement Analysis and Design Second Edition. University of Kentucky, Upper Saddle River, New Jersey.

- ITB (1992). Penelitian dan pengembangan Teknologi Daya Dukung Perkerasan Jalan. Bandung
- Nono dkk (2003). Pengkajian Metoda Perencanaan Tebal lapis Tambah Perkerasan Lentur Dengan Falling Weight Deflectometer. Pusat Litbang Prasarana Transportasi, Bandung
- SHRP (1994). Superior Performing Asphalt Pavements (Superpave): The Product of the SHRP Asphalt Research Program, SHRP-A-410. National Research Coubcil, Washington DC.
- The Asphalt Institute's (1985). The Asphalt Institute Handbooks, Manual Series No. 4. The Asphalt Institute. USA.
- TRRL (1984). The Structural Design of Bituminous Road. Pavement Design and Maintenance Division Highway and Structures Departement TRRL Crowthorne, Berkshire.
- Ullidtz P (1987). Pavement Analysis. Institute of Roads Transport and Town planning-The Technical Universtuty of Denmark, Lyngby, Denmark.
- Ullidtz P (1998). Modelling Flexible Pavement Response and Performance. The Technical University of Denmark. Polyteknisk Forlag, Denmark

Penulis :

- **Ir. Nono, MEng Sc**, Ajun Peneliti Muda, Pusat Ltbang Jalan dan Jembatan Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum
- **Ir. Dadang Achmad S**, Staf Balai Bahan dan Perkerasan Jalan Pusat Ltbang Jalan dan Jembatan Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum