



# PERENCANAAN TEBAL PERKERASAN LENTUR SECARA ANALITIS MENGGUNAKAN MODULUS ELASTIS

A. Tatang Dachlan

## RINGKASAN

Perencanaan lapis perkerasan jalan dengan menggunakan modulus atau kekakuan elastis (elastic stiffness) ini dikembangkan oleh Shell International Petroleum Co Ltd dan University of Nottingham (1986).

Prosedur perencanaan tebal lapis perkerasan ini mengikuti prinsip mode keruntuhan akibat retak fatik (kelelahan) dan deformasi permanen, yaitu kerusakan yang disebabkan oleh regang-tegangan struktur akibat beban lalu lintas selama umur rencana. Nilai kekakuan elastis campuran aspal dapat diperkirakan berdasarkan data laboratorium di bawah kondisi kekakuan elastis bitumen yang dihitung pada suhu dan waktu pembebanan tertentu. Contoh perhitungan disajikan dalam bentuk lembar kerja, masing-masing kolom diberi nomor rumus dan grafik yang digunakan.

Penerapannya untuk di Indonesia disesuaikan dengan memasukkan beberapa perumusan yang diambil dari hasil penelitian selama ini antara Pusat Litbang Jalan dengan TRL Inggris (1987-1994).

## SUMMARY

This analytical pavement design using elastic modulus or elastic stiffness developed by Shell International Petroleum Co Ltd and University of Nottingham (1986).

Design procedure follows the modes of failure essentially a fatigue and permanent deformation which is caused by stresses and strains in the structure as a result of traffic load applications in a design life. The elastic stiffness of mix estimated based on laboratory data and the elastic stiffness of bitumen required under a temperature and an empirical of loading time of asphalt layer. The simple worked examples are shown using worksheet, and each column in which the equation and graph numbers required are marked.

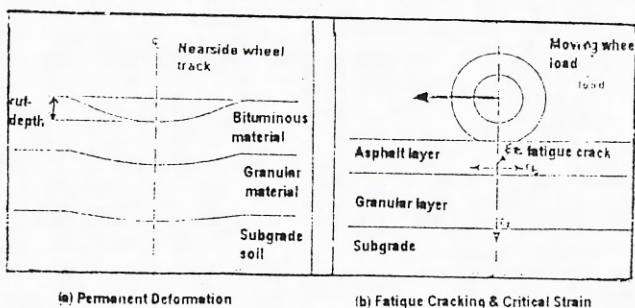
In Indonesia, the proposed application has been available with modifying several equations taken from a partial result of IRE-TRL Collaborative Research Project (1987-1994).

## I. PENDAHULUAN

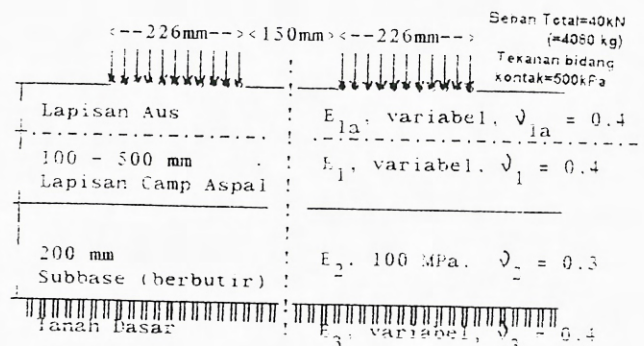
Perencanaan lapis perkerasan jalan secara analitis sampai saat ini dilakukan dengan beberapa macam metode. Shell International Petroleum Company dan Mobil Oil Ltd telah lama mengembangkan prosedur secara analitis<sup>(2)</sup>. University of Nottingham, United Kingdom mengembangkan metode ini dan disajikan di beberapa seminar atau konferensi internasional. Konsep ini diilustrasikan terhadap model kerusakan yang disebabkan lalu lintas selama umur rencana. Fenomena retak fatik (kelelahan) dan deformasi permanen diterapkan dalam perencanaan ini.

Gambar 1a memperlihatkan kerusakan jenis deformasi permanen, disebabkan adanya kumulasi regangan pada struktur akibat lalu lintas. Gambar 1b adalah kerusakan fatik karena regang-tegangan struktur, pada kondisi mana pengulangan regangan tarik dengan nilai maksimum menyebabkan kerusakan retak dari bagian bawah lapisan aspal. Pada Gambar 1c diperlihatkan tipikal susunan perkerasan jalan dengan Poisson's Ratio ( $\nu$ ) dan Modulus Young (E) sebagai parameter "elastic stiffness" (S).

Gambar 1a dan 1b  
MODEL KERUNTUHAN DAN REGANGAN KRITIS  
PERKERASAN ASPAL



Gambar 1c  
SUSUNAN PERKERASAN

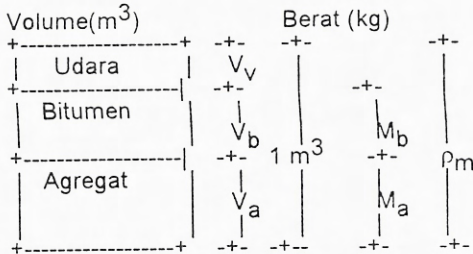


## II. BAHAN PERKERASAN JALAN

### 2.1 Proporsi Campuran

Komponen volume dan berat suatu campuran aspal padat diilustrasikan seperti pada Gambar 2 di bawah.

Gambar 2  
KOMPOSISI VOLUME DAN BERAT CAMPURAN



Catatan:

- $M_B$  = kadar bitumen, total berat campuran, %;
- $M_A$  = kadar agregat, total berat campuran, %;
- $M_a$  = berat agregat, kg =  $M_A \cdot \rho_m / 100$ ;
- $M_b$  = berat bitumen, kg =  $M_B \cdot \rho_m / 100$
- ====>  $M_A + M_B = 100\%$ .

- $G_a$  = berat jenis agregat;
- $G_b$  = berat jenis bitumen;
- $\rho_m$  = kepadatan campuran, kg/m<sup>3</sup>
- $\rho_{max}$  = kepadatan campuran maksimum, kg/m<sup>3</sup>;
- $\rho_{air}$  = kepadatan air, 1000 kg/m<sup>3</sup>;

- $V_a$  = volume agregat,  $M_a / G_a \cdot \rho_w$ , m<sup>3</sup>;
- $V_b$  = volume bitumen,  $M_b / G_b \cdot \rho_w$ , m<sup>3</sup>;
- $V_v$  = volume udara, m<sup>3</sup>; ==>  $V_a + V_b + V_v = 1 \text{ m}^3$ .

- $V_A$  = volume agregat, %;
- $V_B$  = volume bitumen, %;
- $V_V$  = volume udara, %; ==>  $V_A + V_B + V_V = 100\%$

$$VMA = \text{Voids in Mineral Aggregate} = V_B + V_V \dots\dots\dots (1)$$

$$V_B = \frac{M_B \cdot \rho_m}{G_b} \dots\dots\dots (2)$$

$$\rho_m = \frac{G_b \cdot P_{max}(100 - V_V)}{100} \dots\dots\dots (3)$$

$$\rho_{max} = \frac{100 \cdot \rho_w}{M_A / G_a + M_B / G_b} \dots\dots\dots (4)$$

di mana :  $\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$

$$G_a = \frac{100}{\%CA/G_{ag} + \%FA/G_{fa} + \%FF/G_{ff}} \dots\dots\dots (5)$$

$$V_V = \frac{P_{max} - \rho_m}{P_{max}} \cdot 100 \dots\dots\dots (6)$$

### 2.2 Bitumen Stiffness

Brown dan Brunton<sup>(1)</sup> menyebutkan bahwa Van Der Poel memperkenalkan istilah 'stiffness' ( $S_b$ ) sebagai perbandingan antara tegangan dan regangan untuk bitumen pada suatu suhu dan lama pembebanan tertentu.

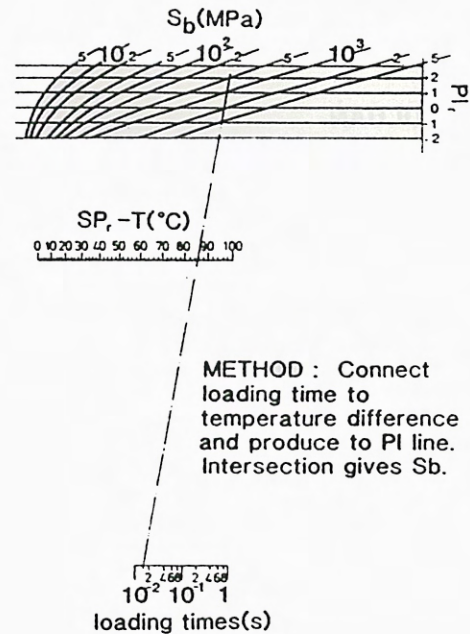
Untuk perencanaan ini maka nilai stiffness bitumen minimum adalah 5 MPa. Bila tidak dilakukan pengujian maka dapat ditentukan dengan menggunakan nomograph pada Gambar 3 di bawah, data mana yang diperlukan adalah: suhu udara rata-rata ( $T$ ), °C, titik lembek bitumen setelah pemanasan ( $SP_r$ ), °C dan waktu pembebanan ( $t$ ), dalam satuan detik, tergantung dari kecepatan kendaraan rata-rata  $V$ , km/jam, serta Indeks Penetrasi bitumen setelah pemanasan ( $PI_r$ ).

Nomograph pada Gambar 3 dikembangkan oleh Ulitz (Brown dan Brunton<sup>(1)</sup>) (1979) memberikan persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung stiffness bitumen dengan rumus berikut:

$$S_b = 1,157 \cdot 10^{-7} \cdot t^{-0,368} \cdot 2,718^{-PI_r} \cdot (SP_r - T)^5 \dots\dots\dots (7)$$

berlaku untuk  $PI_r$  antara -1 dan +1 serta ( $SP_r - T$ ) antara 20 dan 70.

Gambar 3  
NOMOGRAPH ANTARA TITIK LEMBOK ( $SP_r$ ), VOLUME BITUMEN, DAN STIFFNESS OF BITUMEN (VAN DER POEL)



#### 2.2.1 Suhu Udara Rata-rata (T)

Suhu harian rata-rata ( $T$ ) berbeda di setiap negara. Di Inggris antara 4°C dan 18°C sehingga akibat variasi suhu harian ini diperlukan suatu faktor. Bila didasarkan terhadap deformasi permanen maka

suhu perencanaan  $T_d = 1,47 \cdot T$ . Untuk kondisi retak fatik dengan efek kerusakan kumulatif maka digunakan faktor sebesar 1,31 kali sehingga suhu rencana menjadi,  $T_f = 1,92 \cdot T$ .

Di Indonesia suhu rencana dengan faktor di atas tidak sesuai karena variasi suhu udara harian berbeda. Berdasarkan statistik Indonesia 1993 suhu udara rata-rata antara 22°C dan 28°C terjadi di dataran rendah, sedangkan di dataran tinggi antara 18°C dan 26°C. Suhu tertinggi tercatat di Jakarta sebesar 34,1°C.

### 2.2.2 Sifat-sifat Bitumen

Hasil pengujian pemulihan bitumen (recovered) dapat mengambil contoh dari lapangan. Bila nilai-nilai di atas tidak diketahui maka, dapat dihitung dari nilai nominal penetrasi bitumen awal ( $P_i$ ), yaitu:

$$P_r = 0,65 \cdot P_i \dots\dots\dots (8)$$

Perkiraan nilai menurut Brown dan Brunton<sup>(1)</sup> adalah  $SP_r = 98,4 - 26,35 \log P_r$ . Harold N. Atkins<sup>(3)</sup> menyebutkan pengurangan nilai pen sampai 65% adalah sebagai akibat penguapan selama kurang lebih 30 detik di AMP dan kemungkinan oksidasi. Untuk di Indonesia, maka hubungan tersebut diambil berdasarkan hasil penelitian di Asphalt Mixing Plant serta studi antara TRL-Pusat Litbang Jalan (1987-1994) tentang 'Road Strengthening and Rehabilitation'<sup>(4),(5)</sup>. Perumusan untuk menentukan hubungan antara penetrasi awal ( $P_i$ ), setelah pemulihan ( $P_r$ ), titik lembek setelah pemulihan ( $SP_r$ ) dan Indeks Penetrasi bitumen ( $PI_r$ ) diekspresikan menjadi:

$$SP_r = 89,201 - 21,79 \log P_r \dots\dots\dots (9)$$

$$SP_r = 93,278 - 21,79 \log P_i \dots\dots\dots (10)$$

$$PI_r = \frac{1951,545 - 500 \log P_r - 20 SP_r}{50 \log P_r - SP_r - 120,154} \dots\dots\dots (11)$$

### 2.2.3 Waktu Pembebanan

Data yang diperlukan untuk menghitung waktu pembebanan adalah tebal perkerasan aspal perkiraan (h) dalam satuan mm dan kecepatan kendaraan dalam satuan km/jam. Waktu pembebanan (t) dalam satuan detik dapat ditentukan dengan rumus:

$$\log t = 5 \cdot 10^{-4} h - 0,2 - 0,94 \log(V) \dots\dots\dots (12)$$

$$\text{atau secara praktis } t = 1/V \dots\dots\dots (13)$$

berlaku untuk t antara 0,01 dan 0,1 detik (V antara 10 dan 100 km/jam).

### 2.3 Stiffness Campuran Aspal

Stiffness campuran aspal diberi notasi ' $S_m$ ' dan pada kondisi elastis yang menunjukkan stiffness tinggi diberi istilah '*elastic stiffness*' ( $S_{me}$ ). Ada beberapa cara menentukan  $S_{me}$  misalnya James McElvaney<sup>(7)</sup>

menyebutkan bahwa Shell (1977) mengembangkan model untuk memperkirakan  $S_{me}$  secara matematis dengan parameter  $S_z$ ,  $S_y$ ,  $S_x$  dan  $S_w$  dalam satuan Pa ( $N/m^2$ ) sebagai berikut:

$$S_z = 10,82 - 1,342 \left( \frac{100 - V_a}{V_a + V_b} \right) \dots\dots\dots (13a)$$

$$S_y = 8 + 5,68 \cdot 10^{-3} V_a + 2,135 \cdot 10^{-4} V_a^2 \dots\dots\dots (13b)$$

$$S_x = 0,6 \log \left( \frac{1,37 V_b^2 - 1}{1,33 V_b} \right) \dots\dots\dots (13c)$$

$$S_w = 0,76 (S_z - S_y) \dots\dots\dots (13d)$$

Jika  $5 \cdot 10^6 \text{ Pa} < S_b < 10^9 \text{ Pa}$ , maka

$$\log S_{me} = \left( \frac{S_w + S_x}{2} \right) (\log S_b - 8) + \left( \frac{S_w - S_x}{2} \right) \{ (\log S_b - 8) \} + S_y \dots\dots (13e)$$

Jika  $10^9 \text{ Pa} < S_b < 3 \cdot 10^9 \text{ Pa}$ , maka

$$\log S_{me} = S_y + S_w + 2,096 (S_z - S_y - S_w) (\log S_b - 9) \dots\dots (13f)$$

Penyelidikan Shell dari pengembangan oleh Van der Poel untuk elastisitas campuran aspal  $S_{me}$  dalam satuan Pa dapat dihitung pula sebagai fungsi dari stiffness bitumen ( $S_b$ ) dalam satuan Pa dan  $C_v$ , yaitu dengan rumus berikut:

$$S_{me} = S_b \left[ 1 + \frac{2,5 \cdot C_v}{n(1 - C_v)} \right]^n \dots\dots\dots (14)$$

$$n = 0,83 \log \left[ \frac{4 \cdot 10^{10}}{S_b} \right] \dots\dots\dots (15)$$

$$C_v = \frac{\text{Volume agregat}}{\text{Vol agg} + \text{Vol bitumen}}$$

Pendekatan ini berlaku untuk nilai rongga udara  $V_v = 3\%$  dengan suatu pemadatan yang baik. Bila  $V_v > 3\%$ , maka perumusannya dimodifikasi menjadi:

$$C'_v = \frac{C_v}{[1 + 0,01(V_v - 3)]} \dots\dots\dots (16)$$

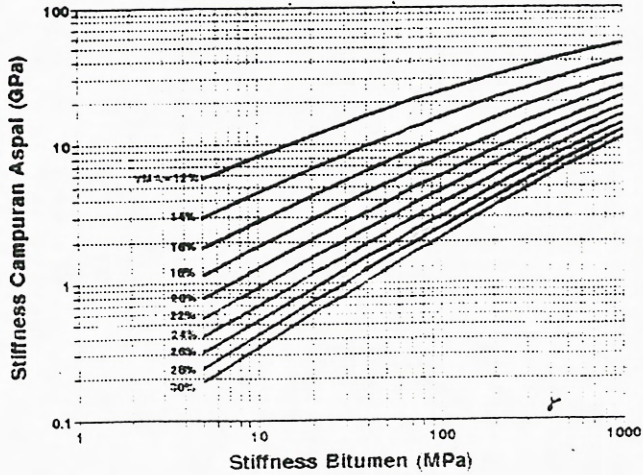
$V_v$  = volume rongga udara, dalam desimal. Modifikasi ini dapat digunakan hanya untuk campuran aspal dengan konsentrasi volume bitumen ( $C_b$ ) yang cukup dengan batasan berikut:

$$C_b = \frac{2}{3} (1 - C'_v) \dots\dots\dots (17)$$

$$C_b = \frac{\dots\dots\dots}{\text{Vol agg} + \text{Vol bitumen}}$$

Bila  $C_b < 2/3 (1 - C'_v)$ , maka nilai  $C'_v$  harus dihitung dan nilai ini yang digunakan dalam rumus (17) di atas. University of Nottingham<sup>(1)</sup> telah memodifikasi rumus dan grafik hubungan VMA,  $S_b$  dan  $S_{me}$ , seperti terlihat pada Gambar 4, bila pengukuran stiffness campuran aspal tidak dilakukan.

**Gambar 4**  
**HUBUNGAN STIFFNESS BITUMEN STIFFNESS CAMPURAN ASPAL DAN VMA**



Elastisitas campuran aspal  $S_{me}$  dalam satuan MPa dapat dihitung sebagai fungsi dari  $S_b$  dalam satuan MPa dan VMA (*voids in mineral aggregate*, %). Pendekatan ini berlaku untuk nilai VMA antara 12% dan 30% serta  $V_v$  lebih besar dari 3%. Perumusan Gambar 4 di atas adalah sebagai berikut:

$$S_{me} = S_b \left[ 1 + \frac{257,5 - 2,5 \text{ VMA}}{n(\text{VMA} - 3)} \right]^n \quad (18)$$

$$\text{di mana : } n = 0,83 \text{ Log} \left[ \frac{4 \cdot 10^4}{S_b} \right] \quad (19)$$

#### 2.4 Jenis Campuran Aspal

Jenis campuran aspal yang dikembangkan dalam metode perhitungan ini (di Inggris) menggunakan jenis Hot Rolled Asphalt (HRA) sebagai lapis permukaan dan Dense Bitumen Macadam (DBM) sebagai lapisan pondasi aspal. Masing-masing jenis lapis pondasi aspal ini telah dimodifikasi oleh University of Nottingham. Modifikasi DBM mempunyai kadar bitumen lebih tinggi. Kedua campuran ternyata masih mempunyai sifat mekanis campuran yang lebih baik.

Di Indonesia, jenis campuran yang dikenal antara lain Laston, dan Lataston atau HRS (Hot Rolled Sheets) yang sama dengan konsep HRA, sedangkan sebagai pondasi aspal dikenal dengan nama Laston Atas dan Laston Bawah.

#### 2.5 Tanah dan Bahan Berbutir

Parameter ( $S_s$ ) ini sering menggunakan istilah Resilient Modulus ( $M_r$ ). Untuk keperluan perencanaan, maka sifat tanah dapat diwakili antara lain dengan nilai CBR (California Bearing Ratio). Secara praktis dapat dikorelasikan sebagai stiffness tanah ( $S_s$ ) dalam satuan MPa, dengan rumus:

$$S_s = 10 \cdot \text{CBR} \quad (20)$$

Untuk jenis tanah kohesif, maka perkiraan nilai elastic stiffness tanah, dapat ditentukan dengan rumus:

$$S_s = 70 - I_p \quad (21)$$

$I_p$  = Plastisitas tanah dalam satuan persen.

### III. KOMPONEN PERENCANAAN

#### 3.1 Umum

Dua kriteria pendekatan yaitu regangan tarik maksimum di bagian bawah lapisan campuran aspal ( $\epsilon_t$ ) dan regangan tekan pada permukaan tanah dasar ( $\epsilon_z$ ). Pada butir 4.2 dan Tabel 3 sampai Tabel 5 disajikan contoh perhitungan termasuk prosedur memperoleh regangan yang diizinkan, serta jumlah beban standar (N) atau umur perkerasan dengan satuan masa (million single axles).

#### 3.2 Umur Rencana

Pada umumnya direncanakan dengan jumlah tahun (10 atau 20 tahun) yang diperkirakan akan mencapai kondisi runtuh (failure) atau kondisi kritis (critical). Runtuh dalam arti bahwa perkerasan jalan sudah tidak mempunyai umur untuk digunakan. Kriteria runtuh diukur pada kedalaman alur 20 mm atau retak menyebar pada jalur jejak roda. Kondisi kritis diukur dengan kedalaman alur 10 mm pada jalur jejak roda. Kondisi ini didefinisikan pula sebagai dimulainya percepatan kerusakan.

#### 3.3 Kriteria Retak Fatik dan Deformasi Permanen

##### 3.3.1 Retak Fatik

Kriteria perencanaan untuk mencegah retak fatik adalah regangan tarik maksimum yang menyebabkan retak di bagian bawah lapisan aspal. Untuk mencegahnya maka kekuatan fatik untuk jenis campuran yang diusulkan perlu diketahui atau campuran aspal harus direncanakan dapat menahan sampai sifat fatik dipenuhi. Sifat-sifat ini dinyatakan dengan hubungan antara regangan tarik ( $\epsilon_t$ ) dan jumlah siklus beban sampai runtuh ( $N_f$ ).

Perhitungan umur fatik dalam satuan msa dan regangan tarik dalam satuan microstrain pada kondisi kritis dan runtuh dapat menggunakan nomograph atau berdasarkan hasil pengujian laboratorium dapat menggunakan rumus berikut :

$$\text{Log } \epsilon_t = \frac{14,39\text{Log}V_B + 24,2\text{Log}SP_i - k - \text{Log}N}{5,13\text{Log}V_B + 8,63\text{Log}SP_i - 15,8} \dots (22)$$

di mana: k = 46,82 dan k = 46,06 masing-masing untuk kondisi kritis dan runtuh. SP<sub>i</sub> = titik lembek sebelum pencampuran ditentukan dari persamaan (9) di atas dengan mengganti initialnya (r).

### 3.3.2 Deformasi Permanen

Batas maksimum regangan vertikal tanah dasar ( $\epsilon_z$ ) yang diijinkan dapat menggunakan rumus atau nomograph, masing-masing untuk kondisi kritis dan kondisi runtuh. Hubungan ini diterapkan dari hasil percobaan pada jenis campuran standar HRA di mana ketahanan deformasi yang terjadi mempunyai faktor alur  $f_r = 1$ . Untuk jenis campuran lain maka digunakan faktor ( $f_r$ ) misalnya: DBM = 1,56; Modifikasi HRA = 1,37 dan Modifikasi DBM = 1,52 .

$$\text{Untuk kondisi kritis: } \epsilon_z = \frac{250}{(N/f_r)^{0,27}} \dots (23)$$

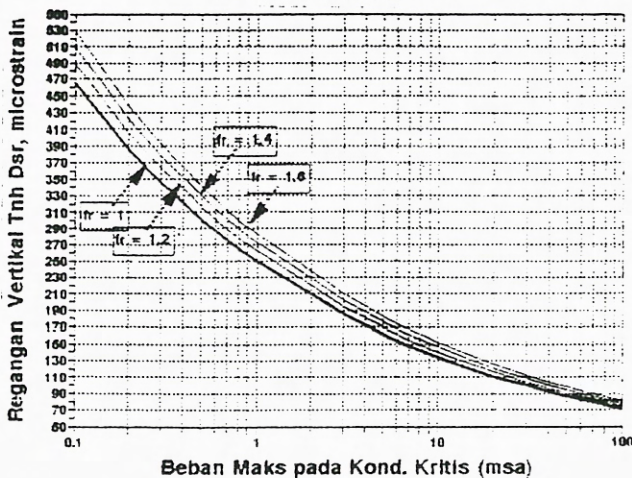
$$\text{atau bila } \epsilon_z \text{ diketahui: } N = f_r \left[ \frac{7,6 \cdot 10^8}{\epsilon_z^{3,7}} \right] \dots (24)$$

$$\text{Untuk kondisi runtuh: } \epsilon_z = \frac{451,3}{(N/f_r)^{0,28}} \dots (25)$$

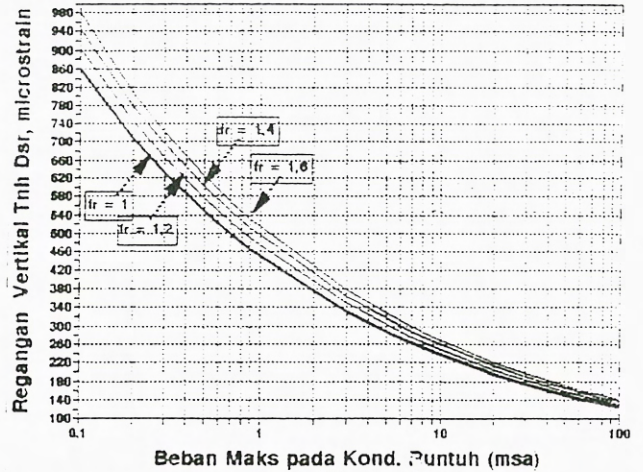
$$\text{atau bila } \epsilon_z \text{ diketahui: } N = f_r \left[ \frac{3 \cdot 10^9}{\epsilon_z^{3,57}} \right] \dots (26)$$

Regangan vertikal tanah dasar dapat pula ditentukan dengan Gambar 5a dan 5b di bawah masing-masing untuk kondisi kritis dan runtuh.

**Gambar 5a**  
REGANGAN MAKSIMUM TANAH DASAR UNTUK KONDISI KRITIS



**Gambar 5b**  
REGANGAN MAKSIMUM TANAH DASAR UNTUK KONDISI RUNTUH



### 3.4 Lalu Lintas

Perhitungan jumlah total setara beban as standar dapat mengikuti referensi lainnya atau rumus sebagai berikut<sup>(1)</sup> :

$$N = D C_C \cdot 10^{-6} \dots (27)$$

di mana D adalah faktor kerusakan (damage factor). C<sub>C</sub> = jumlah kumulatif kendaraan komersil selama umur rencana pada lajur lambat. Jika data yang diperoleh cukup untuk menghitung jumlah beban as yang dikehendaki, maka dapat ditentukan jumlah kumulatif beban sumbu standar dengan rumus:

$$N = 0,0365 \frac{P N_0}{r} [(1 + 0,01 r)^x - 1] \dots (28)$$

di mana: P = proporsi jumlah beban sumbu standar kendaraan komersil dalam satu arah pada lajur rencana; N<sub>0</sub> = Jumlah setara sumbu standar pada awal tahun dan lajur rencana; Road Note 31<sup>(6)</sup> memberikan faktor setara (EF) untuk kondisi tropis sebesar (W/8160)<sup>4,5</sup> di mana W beban sumbu dalam kg.

x = umur rencana, tahun;

r = pertumbuhan lalu lintas.

## IV. PERHITUNGAN TEBAL STRUKTUR LAPISAN PERKERASAN

### 4.1 Umum

Perhitungan tebal perkerasan digunakan beberapa grafik seperti diperlihatkan pada Gambar 6 dan Gambar 7. Masing-masing grafik untuk nilai stiffness tanah dasar ( $S_S \cong E_3$ ) sebesar 50 dan 70 Mpa.

Tebal lapisan aus  $h_w$  sebagai lapisan permukaan dapat dihitung tebalnya mendekati sama dengan pondasi aspal (road base) setebal  $h_b$  mm, dengan rumus:

$$h_b = \frac{h_w \cdot E_{la}}{E_1} \dots (29)$$

di mana:  $E_{1a}$  dan  $E_1$  masing-masing adalah elastic stiffness dari lapisan aus dan pondasi aspal (Laston Atas).

Jika lapisan bahan granular subbase lebih tebal dari standar 200mm, maka kelebihan tebal subbase  $\delta h_2$  dapat diperhitungkan untuk mengurangi tebal lapisan campuran aspal di atasnya sebesar  $\delta h_1$ .

Berdasarkan kriteria regangan subgrade, maka:

$$\delta h_1 = \frac{\delta h_2}{300} [53 - 2,8 E_1 + 0,55 E_3] \dots\dots\dots (30)$$

Berdasarkan kriteria regangan campuran aspal, maka:

$$\delta h_1 = \frac{\delta h_2}{300} [26,5 - 0,5 E_1 + 0,23 E_3] \dots\dots\dots (31)$$

di mana  $E_1 \cong S_{me}$  dalam satuan GPa dan  $E_3 \cong S_s$  dalam satuan MPa.

#### 4.2 Contoh Perhitungan dan Evaluasi

Beberapa contoh perhitungan disajikan menggunakan lembar kerja seperti dalam Tabel 1 sampai Tabel 5 terlampir. Masing-masing kolom diberikan keterangan, nomor persamaan atau gambar nomograph. Pada Tabel 3 dan Tabel 4 terlihat perbedaan hasil perhitungan tebal lapisan pondasi aspal antara perumusan dari Shell (1977)<sup>(2)</sup> dan Van Der Poel serta modifikasi oleh University of Nottingham<sup>(1)</sup>. Dari contoh perhitungan menunjukkan bahwa perumusan yang digunakan oleh University of Nottingham, hasilnya lebih menguntungkan karena tebal lapisan menjadi lebih tipis antara 5% dan 8% dari pada cara lainnya. Hasil perhitungan menunjukkan pula bahwa modified HRA (kadar bitumen lebih rendah, filler lebih tinggi) dan DBM (kadar bitumen lebih tinggi, penetrasi dan  $V_V$  lebih rendah), keduanya mempunyai sifat campuran yang baik. Pada Tabel 5, perhitungan tebal lapisan beraspal dengan membuat variasi rongga dalam campuran, penetrasi dan kadar bitumen. Makin kecil  $V_V$  atau makin rendah penetrasi bitumen akan meningkatkan stiffness campuran. Pada contoh perhitungan tebal lapis pondasi beraspal di bawah lapis permukaan yang telah diketahui stiffnessnya serta di atas lapisan granular subbase 400 mm. Pengurangan tebal lapisan pondasi aspal sebesar 62,1 mm dan 30,1 mm terjadi masing-masing untuk kondisi deformasi permanen (28%) dan fatik (15,8%). Pada contoh penggunaan bitumen yang telah dimodifikasi, yaitu dengan bahan tambah misalnya karet Lateks KKK60, dan polimer Shell Caribit, Shell Carphalte DM dan Shell Carphalte DH. Dari contoh perhitungan menggunakan bahan tambah, maka perlu dilakukan dengan hati-hati karena untuk nilai  $SP_r$  dan  $P_r$  akan berbeda bila dihitung menggunakan rumus nomor 8, 9 dan 10. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa perumusan tersebut berlaku untuk bitumen normal atau tanpa

bahan tambah. Berikut ini diperlihatkan contoh perhitungan dengan nilai yang ekstrim misalnya  $P_i=110$  dengan  $SP_i=75$  secara teoritis menghasilkan  $P_r$  dan  $SP_r$  masing-masing 71,5 dan 48,8, dan  $S_{me}$  yang relatif tinggi. (Lihat Tabel terlampir)

Nilai  $SP_r$  dengan bahan tambah umumnya mempunyai nilai sama atau sedikit lebih tinggi dari  $SP_i$ , yang diharapkan akan menghasilkan nilai  $S_{me}$  yang lebih tinggi. Di sini bila dihitung dengan  $SP_r > SP_i$  ini, maka sebaliknya akan menghasilkan  $S_{me}$  yang jauh lebih rendah. Hal ini disebabkan nilai  $PI_r = + 4,6 > 1$ , yang mengakibatkan stiffness bitumen yang rendah ( $< 5$  MPa). Untuk perhitungan ini maka stiffness bitumen dan campuran aspal dengan bahan tambah lebih baik diukur dengan alat langsung. Berdasarkan kondisi di Indonesia, contoh perhitungan ini memberikan gambaran adanya keterbatasan perencanaan dengan metode modulus elastis. Pentingnya mengetahui sifat-sifat bahan terutama bitumen yang peka terhadap suhu tinggi, waktu pembebanan dan jumlah bitumen dalam suatu campuran, sering menghasilkan nilai  $S_b$  kurang dari 5 MPa dan  $S_{me}$  yang rendah.

Secara teoritis perencana dapat menentukan jenis campuran dengan  $S_{me}$  tinggi, yaitu dengan mengatur  $V_V$  dan  $P_i$  yang sesuai.  $P_i$  yang rendah dan masalah risiko oksidasi bitumen perlu ditunjang dengan mutu pelaksanaan yang baik.

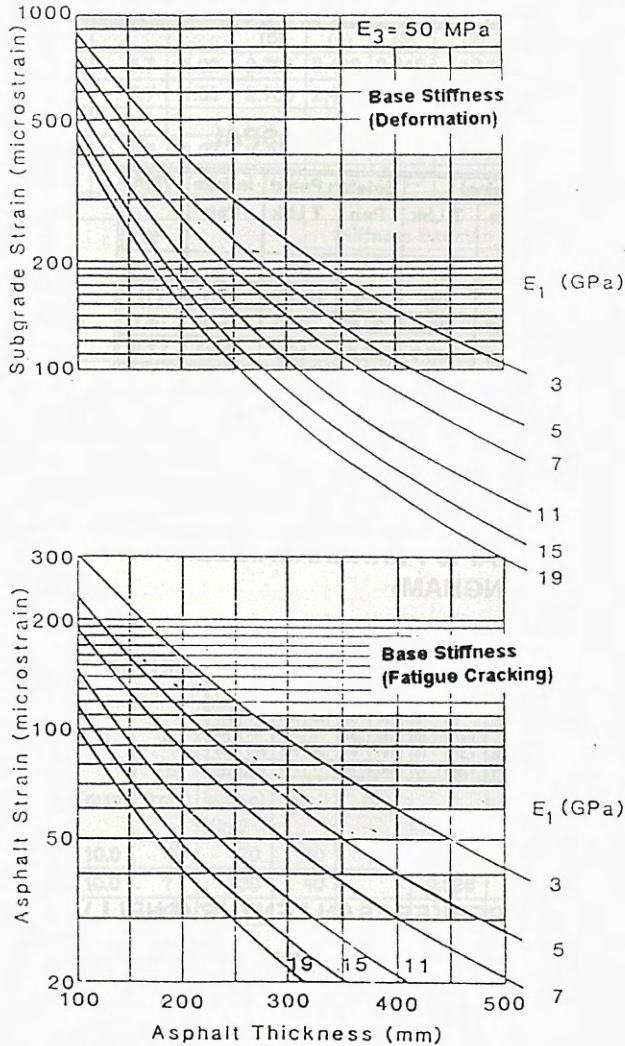
#### V. KESIMPULAN

Dari uraian di atas, maka dapat diambil beberapa kesimpulan berikut:

- 1). Konsep perencanaan lapis perkerasan dengan modulus elastis di Indonesia perlu disesuaikan antara lain dengan perkiraan suhu lapis perkerasan beraspal. Keterbatasan perencanaan dengan modulus elastis ini adalah nilai stiffness bitumen minimum 5 Mpa yang sering dijumpai di Indonesia dikarenakan suhu tinggi dan pembebanan yang lama (kecepatan rendah, perhentian bus dll), sehingga perlu suatu campuran aspal dan nilai penetrasi bitumen yang sesuai dengan kondisi di atas.
- 2). Prosedur perencanaan ini berlaku untuk bitumen normal atau tanpa bahan tambah. Untuk perencanaan dengan menggunakan bahan tambah seperti karet atau bahan polimer lainnya, maka perlu dilakukan dengan hati-hati dan diukur langsung nilai stiffnessnya.
- 3). Masalah perencanaan yang lain adalah bila terjadi regangan kritis pada bahan yang sudah terpilih sebelum umur rencana habis. Untuk menghindari hal ini maka perencana perlu mengetahui sifat-sifat mekanis bahan terutama bitumen serta cara menganalisa struktur perkerasan jalan.
- 4). Perencanaan secara analitis ini dapat dikembangkan menjadi salah satu konsep tata

cara perencanaan tebal lapis perkerasan lentur berdasarkan modulus elastis untuk standar di Indonesia.

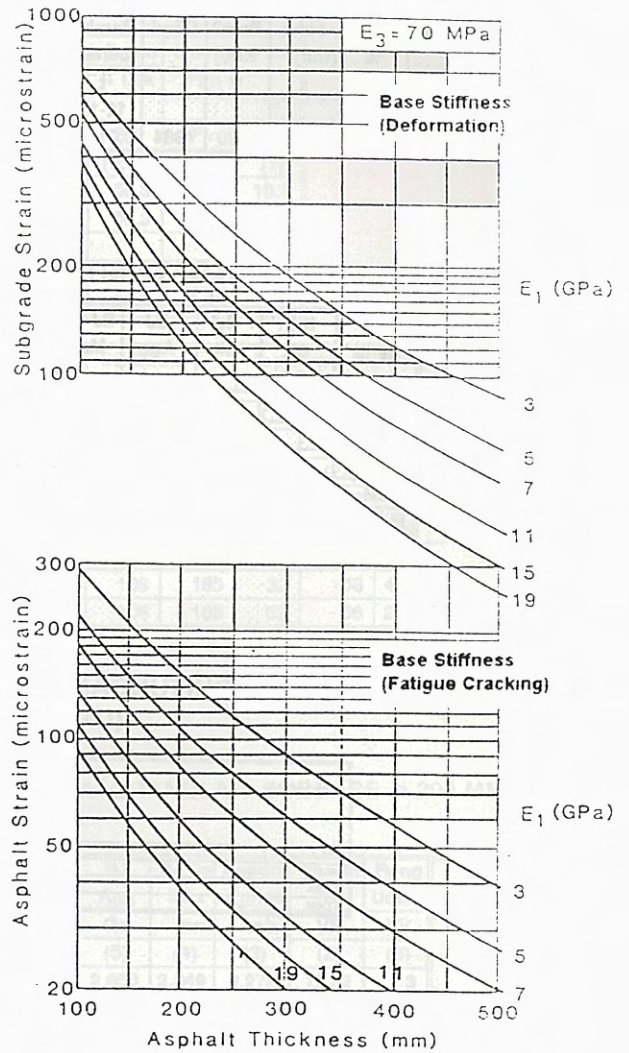
Gambar 6  
REGANGAN KRITIS SEBAGAI FUNGSI DARI STIFFNESS DAN TEBAL LAPIS PERKERASAN ASPAL DAN TANAH DASAR (50Mpa), SUBBASE 200 mm



#### DAFTAR PUSTAKA

1. SF Brown and Janet M Brunton, United Kingdom, An Introduction to the Analitical of Bituminous Pavements, (Residential Course on Bituminous Pavements);
2. Shell International Petroleum Company Ltd, 1990, The Shell Bitumen Handbook, Shell Bitumen UK, Riversdell House, Guildford Street Chertsey, Surrey KT16 9AU;
3. Harold NA, Highway Materials, Soils and Concrete, (Second Edition), Ontario, Canada, 1983;
4. Alan Edwards, Introduction of Laboratory Management Scheme for Institute of Road Engineering, IRE-TRL Bandung, February 1993;

Gambar 7  
REGANGAN KRITIS SEBAGAI FUNGSI DARI STIFFNESS DAN TEBAL LAPIS PERKERASAN ASPAL DAN TANAH DASAR (70Mpa), SUBBASE 200 mm



5. Direktorat Jenderal Bina Marga, Final Report on TARP II: Road Strengthening and Rehabilitation Research Programme (1993), TTU, TRRL-UK, Pusat Litbang Jalan, Bandung, Indonesia.
6. TRL (1993), A Guide to the Structural Design of Bitumen-Surfaced Roads in Tropical and Sub-tropical Countries. OVERSEAS ROAD NOTE 31 (4th Edition). Crowthorne: Transport Research Laboratory, UK.
7. James McElvaney, Properties of Road Making Materials, Bahan kuliah STJR

#### Penulis :

Ir. A. Tatang Dachlan, Ajun Peneliti Madya Bidang Bahan Jalan, Pusat Litbang Jalan.

Tabel 1  
CONTOH DATA LALU LINTAS DAN TANAH DASAR

No.	Vol LL	Perk LL/th %	Umur cana (thn)	V Rata2 Km/j	Tahu Dibuk	Wkt Pembedan	Suhu Renca		Vol LL Tenga	Prop. Kend. Kome	Jml Ku LL (msa)	Faktor Utk. D	Fakto Krska D	Jml Beban (msa)	CBR %	PI	Stfn Tana Dasa
	Co	r	x	V	t	Td	Tf	Cm	P	Cc	y	D	N			Se	
					12-13				(27)	(28)	(27)	(27)	(27)	(27;28)			20,2
1	1500	3	20	60	1984	0.0167	24.3	31.8	2015.9	0.889	13.08	49	2.72	35.56		20	50

Tabel 2  
CONTOH DATA BITUMEN, AGREGAT DAN CAMPURAN ASPAL

Jenis Lapisan	Kdr. Bit. (%)	BJ Bit	BJ Agg	BJ Ca Max	Kepdt Kg/m	Vol Bit (%)	Rong Udara (%)	Original		Setelah Pemd		Indeks Pen	VMA %
	MB	Gb	Ga	max	m	VB	VV	Pen	T Lbk	Pen	T Lbk	Pen	VMA
	(5)	(4)	(3)	(2)	(6)	Pi	SPi	Pr	SPr	PIr	(11)	(1)	
HRA	5.7	1.02	2.700	2.468	2.345	13.1	5	50	53.6	32.5	56.3	-0.70	18.1
DBM	3.5	1.02	2.700	2.553	2.298	7.9	10	100	45.7	65.0	49.7	-0.64	17.9
M HRA	5	1.02	2.700	2.495	2.385	11.7	4	50	53.6	32.5	56.3	-0.70	15.7
M DBM	4.5	1.02	2.700	2.514	2.363	10.4	6	50	53.6	32.5	56.3	-0.70	16.4

Tabel 3  
CONTOH PERHITUNGAN TEBAL RENCANA LAPIS PERKERASAN LENTUR (UNIVERSITY OF NOTTINGHAM)

Jenis Lapisan	Stiffness Bitumen & Camp Aspal						Fakto Alur	SG Strain Deform		Asp Strai Fatigue		Tebal Rencana (mm)		
	For Deform (MPa)			For Fatigue (MPa)				Cr	Fail	Cr	Fail	Defo	Fatig	Ren-
	Sb	nd	Sme	Sb	nf	Sme		Fr	Ecr	Ef	Ecr	Ef	Gambar a	Ren-
HRA	35	2.54	4 124	9	3.02	1 725	1	95	166	93	133	330	315	330
DBM	11	2.97	1 987	2	3.60	NA	1.47	108	185	32	56	400	NA	NA
M HRA	35	2.54	4 391	9	3.02	2 068	1.37	104	181	84	122	285	240	285
M DBM	35	2.54	4 560	9	3.02	2 448	1.52	107	187	74	111	260	300	300

NA = not available

Tabel 4  
CONTOH PERHITUNGAN TEBAL RENCANA LAPIS PERKERASAN LENTUR (SHELL)

**Berdasarkan Parameter Sz, Sy, Sx dan Sw:**

Jenis Lapisan	Parameter untuk menentuka Stiffness Campuran Aspal				Stiffness Bitumen & Camp Aspal						Fakto Alur	SG Strain Deform		Asp Strai Fatigue		Tebal Rencana (mm)		
	Sz (Pa)	Sy (Pa)	Sx (Pa)	Sw (Pa)	For Deform (MPa)			For Fatigue (MPa)				Cr	Fail	Cr	Fail	Defo	Fatig	Ren-
	13a	13b	13c	13d	Sb	nd	Sme	Sb	nf	Sme		Fr	Ecr	Ef	Ecr	Ef	Gambar a	Ren-
HRA	10.56	9.90	0.69	0.51	35	2.54	3 829	9	3.02	1 515	1	95	166	93	133	350	330	350
DBM	10.55	9.91	0.57	0.49	11	2.97	2 244	2	3.60	NA	1.47	108	185	32	56	420	NA	NA
M HRA	10.60	9.99	0.66	0.46	35	2.54	4 932	9	3.02	2 026	1.37	104	181	84	122	290	265	290
M DBM	10.59	9.97	0.64	0.47	35	2.54	4 761	9	3.02	2 032	1.52	107	187	74	111	300	315	315

**Berdasarkan Parameter Konsentrasi Agregat dan Bitumen:**

Jenis Lapisan	Vv ==> C'v	Kons Vol A % Vv	Modif. Cv Vv>3%	Kons Bit. %	2/3 * (1-C'v) (Syr Cb)	C'v	Stiffness Bitumen & Camp Aspal						Fakto Alur	SG Strain Deform		Asp Strai Fatigue		Tebal Rencana (mm)		
							For Deform (MPa)			For Fatigue (MPa)				Cr	Fail	Cr	Fail	Defo	Fatig	Ren-
							Sb	nd	Sme	Sb	nf	Sme		Fr	Ecr	Ef	Ecr	Ef	Gambar a	Ren-
HRA	>3%	0.86	0.85	0.14	0.10	0.85	35	2.54	3 873	9	3.02	1 604	1	95	166	93	133	350	325	350
DBM	>3%	0.91	0.85	0.09	0.10	0.87	11	2.97	2 813	2	3.60	NA	1.47	106	185	32	56	410	NA	NA
M HRA	>3%	0.88	0.87	0.12	0.09	0.87	35	2.54	5 958	9	3.02	2 642	1.37	104	181	84	122	280	255	280
M DBM	>3%	0.89	0.86	0.11	0.09	0.86	35	2.54	5 320	9	3.02	2 316	1.52	107	187	74	111	290	325	325



Tabel 5  
 CONTOH PERHITUNGAN TEBAL RENCANA LAPIS PERKERASAN DENGAN MEMVARIASIKAN  
 VOIDS, PENETRASI DAN KADAR BITUMEN ( UNIVERSITY OF NOTTINGHAM )

Data Agregat, Bitumen dan Campuran Aspal													
Jenis	Kdr. Bit. (%)	BJ Bit	BJ Agg	BJ Ca Max	Kepdt Kg/m	Vol Bit (%)	Rong Udara (%)	Original		Setelah Pemd		Indeks Pen	VMA %
								Pen	T Lbk	Pen	T Lbk		
Lapisan	MB	Gb	Ga	max	m	VB	VV	Pi	SPI	Pr	SPr	Plr	VMA
	(5)	(4)	(3)	(2)	(6)	(9)	(8)	(9;10)	(11)	(1)			
HRA	5.7	1.02	2.700	2.468	2.345	13.1	5	50	53.6	32.5	56.3	-0.70	18.1
HRA	5.7	1.02	2.700	2.468	2.394	13.1	3	50	53.6	32.5	56.3	-0.70	16.1
DBM	3.5	1.02	2.700	2.553	2.298	7.9	10	100	45.7	65.0	49.7	-0.64	17.9
DBM	3.5	1.02	2.700	2.553	2.425	7.9	5	65	45.7	42.3	53.8	-0.68	12.9

Jenis	Stiffness Bitumen & Camp Aspal						Fakto Alur	SG Strain		Asp Strain		Thickness (mm)		
	For Deform (MPa)			For Fatigue (MPa)				Cr	Fail	Cr	Fail	Defo	Fatig	Ren-
	Sb	nd	Sme	Sb	nf	Sme								
Lapisan	(7)	(15)	(14)	(7)	(15)	(14)		(23)	(25)	(22)	(22)	10 s/d 13		
HRA	35	2.54	4 124	9	3.02	1 725	1	95	166	93	133	320	300	320
HRA	35	2.54	5 909	9	3.02	2 616	1	95	166	93	133	280	260	280
DBM	11	2.97	1 967	2	3.60	NA	1.47	106	185	32	56	440	NA	>50
DBM	23	2.69	9 712	5	3.22	4 400	1.47	106	185	32	56	220	350	350

Tabel 6  
 PERHITUNGAN TEBAL LAPIS PERKERASAN LENTUR (PADA GRANULAR SUBBASE > 200 MM)

Jenis	N	h Tbl (mm)	h (kedalaman) Km/j	V	Suhu Udara (C)	Wkt Pe Dtk	Suhu Rencana		Kdr Bit (%)	BJ Bit	BJ Agg	BJ Ca Max	Kepdt Kg/m3	Vol Bit (%)	Rong Udara
							Defor	Failure							
Lapisan	(msa)	(mm)	(Kira2)	Km/j	(C)	t	Td	Tf	MB	Gb	Ga	max	mix	VB	VV
						12-13					(5)	(4)	(3)	(2)	(6)
HRA WC	10.0	40	70	40		0.021	22.0	28.8	7.9	1.01	2.650	2.349	2.278	17.82	3
M HRA Bas	10.0	?	230	40		0.026	22.0	28.8	5.2	1.01	2.650	2.444	2.334	12.015	4.5
SB Granula		400													

Jenis	Original		Setelah Pemd		Indeks Pen	VMA %	CBR %	PI %	Stiffness Tanah Dar Sa
	Pen	T Lbk	Pen	T Lbk					
	Pi	SPI	Pr	SPr					
Lapisan	(9)	(8)	(9;10)	(11)	(1)			(20,21)	
HRA WC	50	53.6	32.5	56.3	-0.70	20.82	5	50	
M HRA Bas	50	53.6	32.5	56.3	-0.70	16.515	5	50	
SB Granula									

Jenis	Stiffness Bitumen & Camp Aspal						Faktor Alur	SG Strain		Asp Strain		Tebal (mm)			Pengurang		Tebal Rencana (mm)		
	For Deform (MPa)			For Fatigue (MPa)				Fr	Ecr	Ef	Ecr	Ef	Tebal (mm)		dh1	dh1	Defo	Fatig	Ren-
	Sb	nd	Sme	Sb	nf	Sme							Defor	Fatigu					
	(7)	(15)	(14)	(7)	(15)	(14)		(23)	(25)	(22)	(22)	Gb 10 s/d 13	(29)	(30)	(31)				
HRA WC	45	2.45	3 209	15	2.85	1 495													
M HRA Bas	42	2.47	6 079	14	2.87	3 097	1.37	148	259	113	164	220	190	21.1	41	9	159	160	160
SB Granula																			

Tabel 7  
CONTOH PERHITUNGAN STIFFNESS DENGAN BEBERAPA MACAM BAHAN TAMBAHAN

No.	Vol LL	Perk LL/th %	Umur (thn)	V Km/j	Tahun Dibuka	Wkt Pembebanan	Suhu Rencana		Vol LL	Prop. Kend.	Jml Ku LL	Fakto Utk. D	Faktor Krokan	Jml Beban (msa)	CBR %	PI	Stfn Tana Dasar
	Co	r	x	V		t	Td	Tf	Cm	P	Cc	y	D	N			Se
						12-13			(27)	(27)	(27)	(27)	(27)	(27)			20,2
1	1500	6.5	10	60	1984	0.0167	24.4	32.0	2055	0.89	6.56	44	2.45	16.05	5		50

Jenis Bitumen dan Penetrasi	Kdr. Bit. (%)	BJ Bit	BJ Agg	BJ Ca Max	Kepdtn Kg/m3	Vol Bit (%)	Rong Udas (%)	Original		Setelah Pemd		Indeka Pen	VMA %
	MB	Gb	Ga	max	m	VB	VV	Pen	T Lbk	Pen	T Lbk	Pen	VMA
			(5)	(4)	(3)	(2)	(6)	Pi	SPi	Pr	SPr	PIr	(1)
50	5	1.02	2.700	2.49	2.407	11.8	3.5	50	53.6	32.5	56.3	-0.7	15.3
60/70	5	1.02	2.700	2.49	2.407	11.8	3.5	69	47.8	44.9	53.2	-0.7	15.3
60/70, KKK60	5	1.02	2.700	2.49	2.407	11.8	3.5	62	51.2	53.2	51.6	-0.7	15.3
50/80, Shell Caribit	5	1.02	2.700	2.49	2.407	11.8	3.5	50	57.0	32.5	56.3	-0.7	15.3
50/80, Shell Caribit	5	1.02	2.700	2.49	2.407	11.8	3.5	80	43.0	52.0	51.6	-0.7	15.3
70/110, Shell CarphateDM	5	1.02	2.700	2.49	2.407	11.8	3.5	110	73.0	71.5	75.0	4.6	15.3
70/110, Shell CarphateDM	5	1.02	2.700	2.49	2.407	11.8	3.5	110	75.0	71.5	48.8	-0.6	15.3

\*) SPr dan Pr harus diukur langsung

Jenis Penetrasi Bitumen dan Bahan Tambah	Stiffness Bitumen & Camp Aspal						Fakto Alur	SG Strain Deform		Asp Strain Fatigue	
	For Deform (MPa)			For Fatigue (MPa)				Fr	Ecr	Ef	Ecr
	Sb	nd	Sme	Sb	nf	Sme	Ecr				
	(7)	(15)	(14)	(7)	(15)	(14)	(23)	(25)	(22)	(22)	
50	34	2.54	6 847	9	3.03	3 077	1	118	207	100	146
60/70	20	2.73	5 063	4	3.28	1 999	1	118	207	83	126
60/70, KKK60	15	2.84	4 236	3	3.43	1 539	1	118	207	93	138
50/80, Shell Caribit	34	2.54	6 847	9	3.03	3 077	1	118	207	109	157
50/80, Shell Caribit	16	2.83	4 342	3	3.41	1 596	1	118	207	67	106
70/110, Shell CarphateDM	2	3.64	1 060	1	3.93	617	1	118	207	149	200
70/110, Shell CarphateDM	9	3.05	2 999	1	3.72	913	1	118	207	149	200

\*\*) Sb dan Sme menggunakan rumus, seharusnya diukur langsung