

ASPEK LELAH PADA PERKERASAN JALAN (FATIGUE)

Hermin Tjahyati

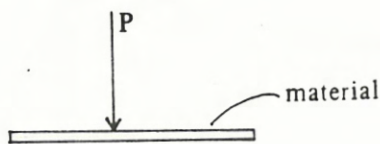


Suatu material apabila mengalami pembebanan secara berulang - ulang, akan mengalami kelelahan. Gejala lelah ini bila dibiarkan akan berkembang menjadi suatu kerusakan. Jika hal ini terjadi pada perkerasan jalan maka kelelahan atau fatigue pada material perkerasan jalan itu apabila tidak segera diatasi akan berkembang menjadi crack. Melalui crack yang terjadi itu dapat timbul bermacam macam masalah pada base, sub - base ataupun sub grade.

Pengujian mengenai fatigeu dapat dilakukan di laboratorium sehingga, berdasarkan pengujian dan parameter - parameter lainnya mengenai bahan - bahan jalan serta ditunjang oleh teori lainnya, akan didapat suatu perencanaan mengenai umur suatu perkerasan jalan.

PENDAHULUAN

Lelah atau fatigue pada suatu material adalah suatu fenomena mengenai keretakan (fracture) yang timbul setelah terjadinya aplikasi beban pada material itu (beban merupakan suatu tensile - stress) di mana besarnya dari tensile - stress tersebut adalah lebih kecil daripada tensile - stress material itu sendiri. Pembebanan itu diberlakukan pada material tersebut secara berulang - ulang.



Contoh : Pada saat failure tensile stress akibat beban P pada material adalah $= x \text{ kg/cm}^2$.

Failure ini akan terjadi setelah diberi pembebanan berulang - ulang pada material sebesar $= f.x \text{ kg/cm}^2$, di mana $f < 1$.

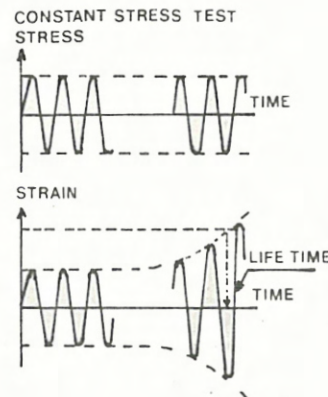
Fatigue suatu material dapat diuji di labora - torium dengan cara dan prosedur yang telah ditentukan.

PERCOBAAN LELAH (FATIGUE) DI LABORATORIUM

Pada umumnya ada 2 tipe percobaan di labora - torium yaitu percobaan dengan cara :

1. Constant stress
2. Constant strain

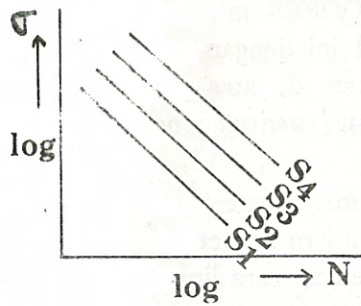
1. Constant Stress



Pada percobaan ini yang terjadi adalah :

- σ konstan
- ϵ meningkat
- S (Stiffuess) mengecil

Bila dilakukan percobaan dengan cara ini akan didapat hubungan antara dengan N (fatigue life) sebagai berikut :

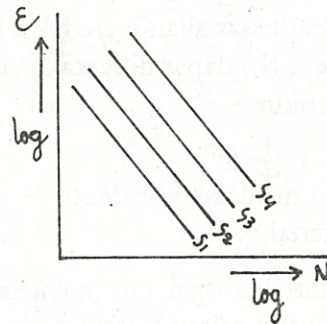


Pada constant strain yang terjadi adalah :

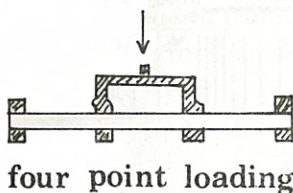
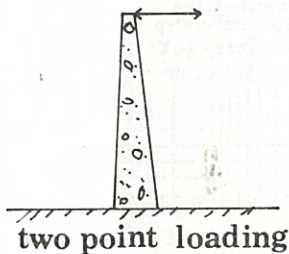
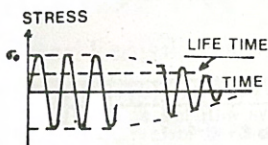
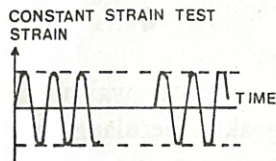
- ϵ konstan
- σ mengecil
- S mengecil

Dari percobaan dengan cara ini akan didapat hubungan antara strain ϵ dengan N sebagai berikut :

$S_4 > S_3 > S_2 > S_1$ di mana S_1, S_2, S_3 dan S_4 adalah simbol daripada stiffness. Dalam hal ini jika S semakin besar pada σ yang konstan, maka akan dicapai umur lelah N yang besar.



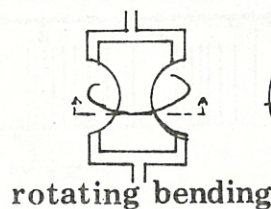
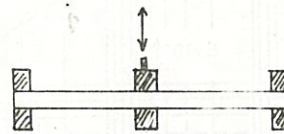
2. Constant Strain



Di mana $S_1 S_2 S_3 S_4$

Dalam hal ini dapat dilihat pada ϵ yang konstan dengan mengecilnya S maka N akan semakin besar. Prosedur dari cara pengujian ini bisa dilakukan dengan beberapa titik pembebanan, yaitu :

- two point loading
- three point loading
- four point loading
- rotation bending
- indirect tensile



Posisi :

1. zero stress
2. max compression
3. zero stress
4. max tension

Pada fatigue life ada 2 fase waktu yaitu :

1. Fase awal retak (crack initiation phase)
 2. Fase lanjutan (crack propagation phase).
- Dengan demikian ada waktu yang dibutuhkan untuk mencapai crack initiation dan ada waktu yang dibutuhkan untuk mencapai crack propagation.

Dalam hal perkerasan jalan, kondisi mix dari perkerasan terutama "binder content" dan "void content!!" sangat mempengaruhi fatigue life.

Void content yang besar akan mereduksi fatigue life. Fatigue life (N) dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut :

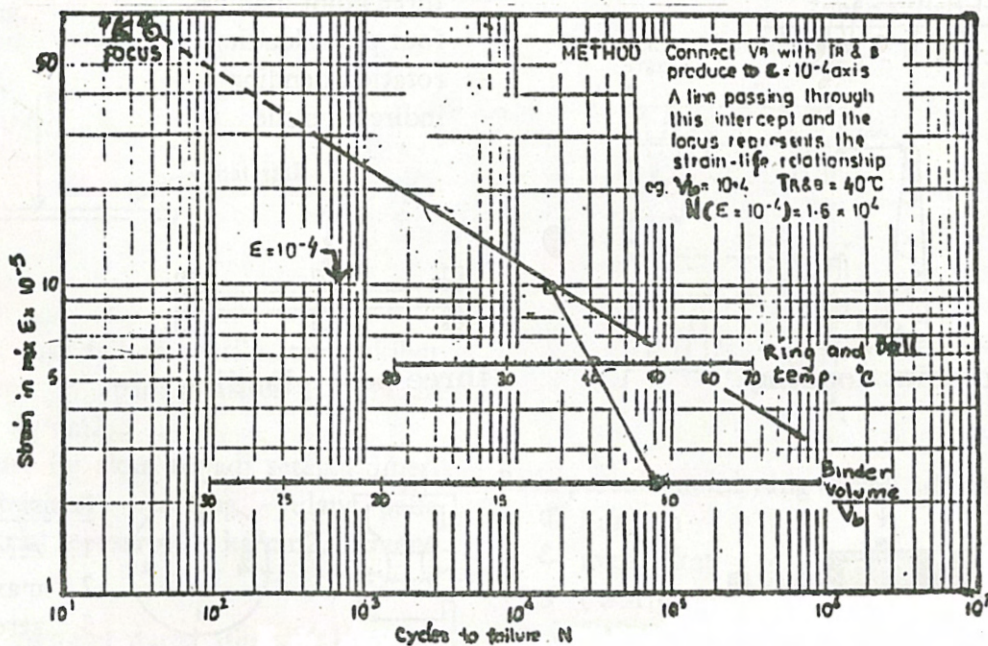
$$N = k \left(\frac{1}{\epsilon} \right)^m$$

di mana k dan m adalah konstanta daripada material.

Analisa regresi dari berbagai mix menghasilkan suatu hubungan yang relatif antara fatigue life pada strain = 1×10^{-4} atau $N_{\epsilon} = 10^{-4}$ dengan binder content (V_B) dan Ring and Ball Softening Point (T_{RB}^{OC}) dengan suatu persamaan :

$$\log N_{(\epsilon=10^{-4})} = 4,13 \log V_B + 6,95 \log T_{RB} - 11,13$$

("k" merupakan titik fokus dengan ordinat $N = 40$ dan $\epsilon = 6,3 \times 10^{-4}$)



Nomograph for Prediction of Fatigue Performance.

PELL and COOPER membuat suatu percobaan mengenai hal ini dengan cara rotating bending dan persamaan di atas tadi dapat disajikan berupa suatu bentuk nomograph sebagai berikut :

Nomograph ini sangat praktis dipakai dalam perencanaan, di mana setelah harga dihitung (misalnya dengan cara linier elastic multi layer programme) maka harga N dapat langsung didapat dengan nomograph di atas berdasarkan pada V_B dan T_{RB} rencana.

APLIKASI TEORITIS PADA PERENCANAAN

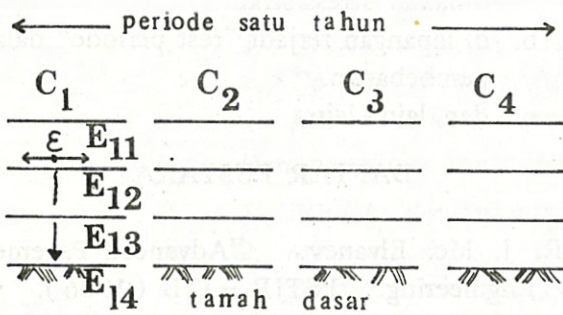
Dari uraian yang sangat singkat tadi kita akan mencoba menghitung besarnya proporsi kerusakan dan umur jalan akibat lelah (fatigue) pada suatu struktur perkerasan yang terjadi karena efek daripada axle load yang berlaku pada bermacam kondisi musim.

Untuk itu diperlukan data - data dan cara sebagai berikut :

1. Buat suatu interval waktu dari berbagai musim yang akan berulang sepanjang umur perencanaan.

Sebagai contoh adalah kita buat suatu pengamatan dari variasi musim yang mungkin terjadi selama satu tahun dan akan berulang pada setiap tahun (climate condition). Di Indonesia ada 2 musim.

2. Temukan berbagai efek dari variasi musim tersebut pada parameter struktur baik secara teoritis maupun secara empiris.
3. Buat suatu structural capacity untuk tiap periode; (selama kondisi tersebut pada setiap periode dianggap sama).



Maka :

selama kondisi C₁ terjadi n_{c1} aplikasi beban 1
 selama kondisi C₂ terjadi n_{c2} aplikasi beban 2
 selama kondisi C₃ terjadi n_{c3} aplikasi beban 3
 selama kondisi C₄ terjadi n_{c4} aplikasi beban 4

4. Gunakan teori kerusakan komulatif. (cummulative damage) Minners cummulative damage hypothesis, yaitu :

- Beban total yang diserap yang menimbulkan kerusakan pada saat failure adalah konstan serta menimbulkan total damage = W.
- Kerusakan adalah tetap tidak dirubah lagi.
- Tidak ada interaksi tegangan (stress).
- Proporsi kerusakan total setiap waktu sebanding dengan proporsi terjadinya a siklus (cycles expended).

Misalnya jika fatigue life pada strain ε₁ adalah N₁ maka proporsi kerusakan yang terjadi setelah n₁ cycles dari ε₁ & W₁ adalah sebesar :

$$\frac{n_1}{N_1} = \frac{W_1}{W} \quad \text{atau} \quad W_1 = \frac{n_1}{N_1} \cdot W$$

$$\text{Demikian seterusnya } W_2 = \frac{n_2}{N_2} \cdot W$$

$$W_3 = \frac{n_3}{N_3} \cdot W$$

Sedangkan $W_1 + W_2 + W_3 + \dots + W_i = W$

$$\text{maka } \frac{n_1}{N_1} W + \frac{n_2}{N_2} W + \frac{n_3}{N_3} W + \dots$$

$$+ \frac{n_i}{N_i} W = W_1 + W_2 + \dots + W_i = W$$

$$\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \dots + \frac{n_i}{N_i} = 1$$

$$\sum_{i=1}^r \frac{n_i}{N_i} = 1$$

5. Dari hubungan grafik ε dengan N teori Minner cummulative damage tadi, dapat dicari proporsi kerusakan sebagai berikut :

- Apabila dari butir 3 tadi ε₁ diaplikasikan sebanyak n_{c1} maka akan timbul suatu proporsi efek kerusakan sebesar

$$\frac{n_{c1}}{N_{n1}}$$

- Jika ε₂ diaplikasikan sebanyak n_{c2}, maka akan timbul suatu proporsi efek kerusakan sebesar $\frac{n_{c2}}{N_{c2}}$

- Jika ε₃ diaplikasikan sebanyak n_{c3} maka akan timbul suatu proporsi efek kerusakan sebesar $\frac{n_{c3}}{N_{c3}}$

Maka dengan demikian akan didapat total proporsi kerusakan selama satu tahun sebesar :

$$\sum \frac{n_{ci}}{N_{cii}} = \frac{n_{c1}}{N_{c1}} + \frac{n_{c2}}{N_{c2}} + \frac{n_{c3}}{N_{c3}} + \dots + \dots$$

Contoh :

No.	ϵ	N	n
1	4×10^{-5}	4×10^5	2000
2	1×10^{-4}	$1,8 \times 10^4$	600
3	3×10^{-4}	5×10^2	20

Proporsi kerusakan yang terjadi selama periode adalah :

$$\begin{aligned} \sum n_i &= \frac{2000}{4 \times 10^5} + \frac{600}{1,8 \times 10^4} + \frac{20}{5 \times 10^2} \\ &= 0,005 + 0,033 + 0,04 \\ &= 0,078 \end{aligned}$$

Maka umur perkerasan jalan tersebut adalah :

$$\frac{1}{0,078} = 13 \text{ tahun sebelum terjadi crack}$$

P E N U T U P

1. Berdasarkan pada mekanisme dalam metodologi desain, maka harus dibuat :
 - a. limitasi tensile strain pada lapisan perkerasan (aspal) untuk pengontrolan cracking.
 - b. limitasi strain pada sub - grade untuk pengontrolan deformasi permanen.

Seperti pada pengontrolan cracking dengan $N = k \left(\frac{1}{\epsilon_t}\right)^m$, maka pengontrolan vertical

compressive strain pada sub - grade dinyatakan dalam :

a dan b = koefisien yang didapat dari analisa elastis

ϵ_c = vertical compressive strain pada permukaan sub - grade.

2. Tentu saja akan terjadi perbedaan - perbedaan antara hasil perhitungan secara teoritis dan hasil empiris di lapangan karena :
 - a. di lapangan berada dalam kondisi triaxial, sedang di laboratorium berdasarkan pada kurva - kurva yang dihasilkan dari uniaxial stress/strain.
 - b. di lapangan terjadi "rest periode" dalam pembebanan.
 - c. dan lain - lain.

DAFTAR PUSTAKA

- DR. J. Mc. Elvaney, "Advanced Pavement Engineering". PSTJR - ITB (1986). Asphalt Institute Institution 9th edition.
- P.S. Pell and K.E. Cooper, "The effect of Testing and Mix Variables on the fatigue Performance of Bituminous materials", AAPT, 1977.
- F. Bonnaure ; A. Gravois and J. Udror, "A New Method for Predicting the Fatigue Life of Bituminous Mixes", AAPT, 1977.

Penulis :

Ir. Hermin Tjahyati, MSc. staf Balai Penyelidikan Tanah untuk Jalan.

- Lulus Fakultas Teknik Sipil ITB 1976
- Lulus PSTJR ITB - UCL 1986
- Bekerja di Bina Marga 1976 - 1979
- Bekerja di Puslitbang Jalan 1979 sampai sekarang.
- Aktif melakukan studi pada Bidang Geoteknik.