

# **PENILAIAN PAVEMEN**

## Penilaian Pavemen

- Pavemen jalan yang menunjukkan tanda-tanda kerosakan disebabkan oleh trafik seperti keretakan dan rutting yang tertumpu di laluan roda perlu dibuat penilaian bagi menentukan kekuatan struktur pavemen sedia ada dapat menampung beban trafik sedia ada dan unjuran.
- Sekiranya kekuatan sedia ada tidak mencukupi, kerja pembaikan jalan dengan hanya merawat permukaan jalan seperti *cut & patch*, *crack sealing* atau *overlay* tidak akan berkesan.
- Oleh itu, struktur pavemen perlu direkabentuk semula dengan mengambil kira kekuatan struktur sedia ada, beban trafik sedia ada dan beban trafik unjuran 5 – 10 tahun.

## Rekabentuk Struktur Pavemen

Rekabentuk struktur pavemen adalah berpandukan kepada Seksyen 3 Arahan Teknik (Jalan) 5/85 (Pindaan 1/93) *Manual on Pavement Design*.

## Unjuran Trafik dan Beban Gandar

1. Dapatkan purata trafik harian (*average daily traffic, ADT*) dari Bahagian Perancang Jalan (HPU).
2. Dapatkan peratus kenderaan perdagangan (*Pc*) daripada HPU. (Kenderaan perdagangan adalah kenderaan tanpa muatan yang melebihi berat 1.5 tan).
3. Dapatkan kadar pertumbuhan trafik tahunan (*r*) daripada HPU.
4. Kira bilangan kenderaan perdagangan tahunan bagi satu hala ( $V_o$ ).

$$V_o = ADT \times 365 \times \frac{Pc}{100} \times \text{directional split}$$

*directional split*  $D_d = 0.5$  sekiranya tidak diketahui (menganggap taburan trafik di kedua hala adalah sama).

5. Kira jumlah kenderaan perdagangan bagi satu hala ( $V_c$ )

$$(V_c) = (V_o) \frac{[(1+r)^n - 1]}{r}$$

$n$  = hayat rekabentuk (tahun)

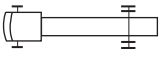
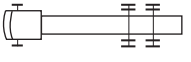
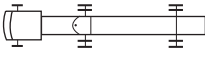


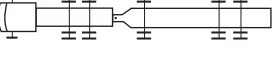
6. Kira jumlah beban piawai setara (*Equivalent Standard Axle Load, ESAL*).

$$ESAL = V_{c1} \times e_1 + V_{c2} \times e_2 + \dots + V_{cn} \times e_n$$

$V_{cn}$  = jumlah kenderaan untuk setiap kategori gandar

$e_n$  = faktor setara (*equivalence factor*) untuk setiap kategori gandar

Rujuk Table 3.1 Arahan Teknik (Jalan) 5/85 (Pindaan 1/93) seperti di bawah;

AXLE CONFIGURATION	CODE	EQUIVALENCE FACTORS
	1.2	2.5
	1.22	2.0
	1.2 - 2	5.5
	1.2 - 22	4.0
	1.22 - 22	4.0
	1.22 + 2.22	4.0

The basis for the axle coding system is as follows:-

- 1 or 2 = number of wheels (single or dual)
- = axles of unit separated by more than 2.27 m
- +
- = separated trailer unit
- = articulated unit sharing axles with the primary unit (or unit in front)

7. Jika tiada tinjauan terhadap beban gandar dilakukan, gunakan 2.52 sebagai faktor setara (*equivalence factor*).

### **Subgrade California Bearing Ratio (CBR)**

- Nilai CBR *subgrade* diambil pada lapisan 1 meter di bawah permukaan subgrade.
- Jika subgrade terdiri daripada beberapa lapisan yang berbeza CBR, ujian akan dilakukan pada setiap lapisan yang melebihi 200 mm dan nilai CBR akan ditentukan menggunakan persamaan di bawah;

$$CBR = \left[ \frac{h_1(CBR_1)^{\frac{1}{3}} + h_2(CBR_2)^{\frac{1}{3}} + \dots + h_n(CBR_n)^{\frac{1}{3}}}{100} \right]^3$$

$CBR_n$  = nilai CBR setiap lapisan (%)

$h_n$  = tebal setiap lapisan (mm)

- Lapisan yang kurang daripada 200 mm dianggap sebagai sebahagian daripada lapisan atas atau di bawahnya.
- Bila terdapat lapisan di bahagian atas *subgrade* yang mempunyai nilai CBR yang rendah, nilai ini akan digunakan untuk lokasi tersebut.

## Rekabentuk Struktur Lapisan Pavemen

1. Tentukan *equivalent total pavement thickness*,  $T_A$  (mm) daripada *Figure 3.1* Arahan Teknik (Jalan) 5/85, Pindaan 1/93, berdasarkan nilai CBR rekabentuk *subgrade* dan *Equivalent Standard Axle Load* (ESAL).
2. Kira tebal lapisan setiap struktur pavemen;

$$T_A = a_1 d_1 + a_2 d_2 + \dots + a_n d_n$$

$a_n$  = pekali struktur lapisan atau structural layer coefficient (lihat Jadual 3.3 Arahan Teknik (Jalan) 5/85, Pindaan 1/93).

$d_n$  = tebal setiap lapisan struktur pavemen merujuk kepada tebal minimum lapisan (lihat Jadual 3.3 Arahan Teknik (Jalan) 5/85, Pindaan 1/93).

Jadual 3.3 Arahan Teknik (Jalan) 5/85, Pindaan 1/93:  
*Structural Layer Coefficient & Minimum Thickness.*

Pavement Layer		Property	Coefficient	Minimum Thickness (mm)
Wearing course	ACW 20		1.00	50
	BMW 20	BS 4987	0.90	50
Binder course	ACB 28		1.00	50
	BMB 28	BS 4987	0.90	50
Roadbase	BMR 40	Stability > 400 kg	0.80	70
	BMR 28	Stability > 400 kg	0.80	50
	Wet Mix		0.40	100
	Crushed Aggregate		0.35	100
Subbase		CBR > 30	0.23	150

3. Untuk tujuan pembinaan, tebal lapisan secara amnya mestilah berada dalam had yang ditetapkan oleh Jadual 3.4 dalam Arahan Teknik (Jalan) 5/85, Pindaan 1/93.
4. Untuk tidak melebihi *critical tensile strain* pada ikatan lapisan berbitumen, tebal minimum lapisan adalah seperti yang ditetapkan oleh Jadual 3.8 dalam Arahan Teknik (Jalan) 5/85.

Jadual 3.4 Arahan Teknik (Jalan) 5/85, Pindaan 1/93: *Standard and Single Layer Thickness*.

Pavement Layer		Standard Thickness (mm)	Single Thickness (mm)
Wearing course	ACW 20	50	50
	BMW 20	40 - 50	40 – 50
Binder course	ACB 28	50 - 100	50 – 100
	BMB 28	50 – 100	50 – 100
Roadbase	BMR 40	70 - 100	70 - 100
	BMR 28	50 - 150	50 – 100
	Wet mix	100 - 150	100 – 150
	Crushed Aggregate	100 - 200	100 – 200
Subbase		150 - 300	150

Jadual 3.8 Arahan Teknik (Jalan) 5/85: *Minimum Thickness of Bituminous Layer*.

$T_A$	Total Thickness of Bituminous Layer
< 17.5 cm	5.0 cm
17.5 – 22.5 cm	10.0 cm
23.0 – 29.5 cm	15.0 cm
> 30.0 cm	17.5 cm

## Rekabentuk Struktur Lapisan Sedia Ada

Kira *equivalent total pavement thickness*,  $T_A$  (mm) untuk lapisan sedia ada berdasarkan kepada keputusan CBR dan keadaan pavemen sedia ada. Nilai CBR untuk pavemen sedia ada diperolehi daripada ujian *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP).

$$T_A = a_1 d_1 + a_2 d_2 + \dots + a_n d_n$$

$a_n$  = pekali struktur lapisan (lihat Jadual 1 dan Jadual 3).

$d_n$  = tebal setiap lapisan pavemen (lihat Graf 1).

## Ujian *Dynamic Cone Penetrometer*

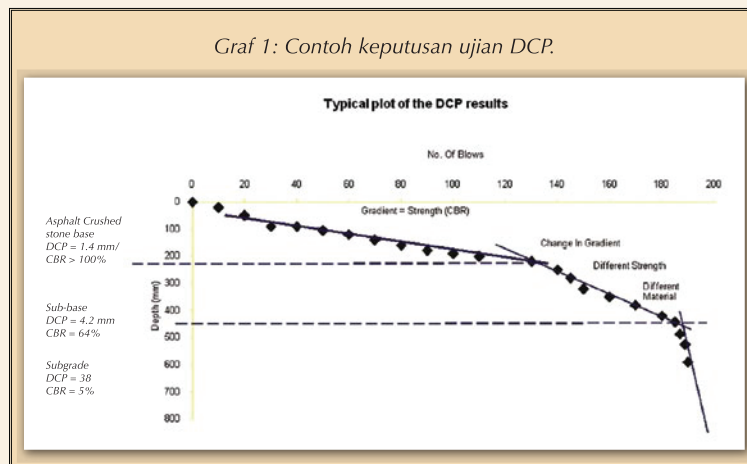
Keputusan ujian DCP (Rajah 8 dan Graf 1) digunakan untuk mendapatkan:

1. Kekuatan lapisan pavemen.
2. Tebal lapisan pavemen.
  - DCP = Kedalaman lapisan/bilangan hentaman (mm/blow)
  - CBR =  $269/DCP$  (%)

Rajah 8: Contoh keputusan ujian DCP.

ROUTE NUMBER: 1					DATE: 1/1/93			
SECTION NUMBER: 238					METREAGE: 50			
DIRECTION: up					CORE THICKNESS: 120 mm			
No. BLOWS	$\Sigma$ BLOWS	PEN. (mm)	No. BLOWS	$\Sigma$ BLOWS	PEN. (mm)	No. BLOWS	$\Sigma$ BLOWS	PEN. (mm)
0	0	0	10	90	180	10	180	420
10	10	20	10	100	190	5	185	443
10	20	50	10	110	200	2	187	486
10	30	90	20	130	220	2	189	525
10	40	90	10	140	250	1	190	590
10	50	105	5	145	280	1	191	643
10	60	120	5	150	320	1	192	695
10	70	140	10	160	350	1	193	748
10	80	160	10	170	380	1	194	800

Graf 1: Contoh keputusan ujian DCP.



Untuk pavemen yang lama, pekali struktur untuk lapisan asphalt dianggarkan berdasarkan keadaan keretakan pada sampel tebukan (lihat Jadual 1 dan Jadual 2).

Pekali struktur untuk *roadbase* dan *sub-base* sedia ada dianggarkan berdasarkan kepada keputusan ujian DCP (lihat Jadual 3).

Jadual 1: Estimated values of structural coefficients for various conditions of asphalt.

Condition	Structural Coefficient
Sound, stable, uncracked. Little deformation in wheelpaths.	0.8
Crack type 1 and < 5 mm rutting.	0.7
Crack type 2 – 3, 5 – 10 mm rutting.	0.5
Crack type 4 or greater, > 10 mm rutting.	0.4

Jadual 2: Penentuan tahap keretakan.

Tahap Keretakan (Crack Type)
0 - No crack
1 - Single crack
2 - Many cracks but not interconnected
3 - Interconnected cracks
4 - Crocodile cracks
5 - Crocodile cracks and spalling

Jadual 3: Estimated values of structural coefficients for various conditions of base course.

Layer	CBR	Estimate of Structural Coefficient
Sub-base	> 30%	0.30
	20 – 30%	0.20
	< 20%	0.10
Roadbase	> 100%	0.32
	80 – 100%	0.30
	< 80%	0.25

### Contoh (*work example*)

Membaik-pulih struktur pavemen untuk jalan utama 2 lorong berdasarkan parameter di bawah:

Class of road	= R5
Initial daily traffic volume, ADT	= 12,000
Directional split, $D_d$	= 55/45
Percentage of commercial vehicles, $P_c$	= 15%

Annual growth rate,  $r$  = 7%  
 Hayat rekabentuk,  $n$  = 8 thn  
 Axle load survey = NA

Ujian DCP memberikan keputusan CBR seperti berikut;

CBR (x), %	4	5	6	7	8	8	9	9	11	12
$x^2$	16	25	36	49	64	64	81	81	121	144

$$\sum x = 79, \sum x^2 = 681, (\sum x)^2 = 6241$$

$$\text{Purata CBR} = 79/10 = 7.9$$

$$\text{Sisihan piawai} = \text{Purata CBR} - \text{sisihan piawai}$$

$$\begin{aligned} \text{Sisihan piawai} &= \{[N(\sum X^2) - (\sum X)^2] / [N(N-1)]\}^{0.5} \\ &= \{10(681) - 6241 / 10(9)\}^{0.5} = 2.51 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CBR rekabentuk} &= \text{Purata CBR} - \text{sisihan piawai} \\ &= 7.9 - 2.51 = 5.4 \end{aligned}$$

Maka, CBR rekabentuk adalah 5.0%.

## 1. Penentuan $T_A$ rekabentuk pavemen

$$\begin{aligned} V_o &= \text{ADT} \times 365 \times P_c / 100 \times D_d \\ &= 12,000 \times 365 \times 15 / 100 \times 55\% \\ &= 362,000 \text{ kenderaan} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{V_o [(1+r)^n - 1]}{r} \\ &= 3.7 \times 10^6 \text{ kenderaan} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ESAL} &= V_c \times 2.52 \\ &= 3.7 \times 10^6 \times 2.52 \\ &= 9.35 \times 10^6 \text{ kenderaan} \end{aligned}$$

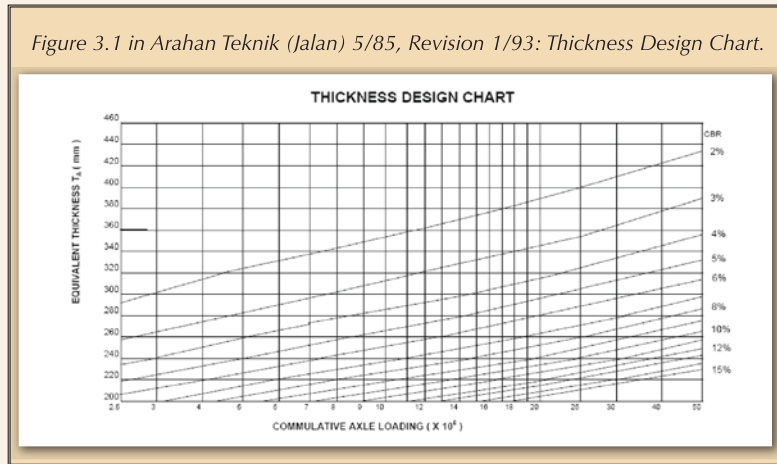
Daripada pengiraan,

$$\begin{aligned} \text{CBR subgrade} &= 5\% \\ \text{ESAL} &= 9.35 \times 10^6 \text{ kenderaan} \end{aligned}$$

Daripada *Figure 3.1* Arahan Teknik (Jalan) 5/85 Pindaan 1/93, nilai  $T_A$  (rekabentuk) dapat ditentukan.

$$\text{Maka, } T_{A(\text{rekabentuk})} = 265 \text{ mm}$$

Figure 3.1 in Arahan Teknik (Jalan) 5/85, Revision 1/93: Thickness Design Chart.



## 2. Penentuan $T_A$ sedia ada pavemen

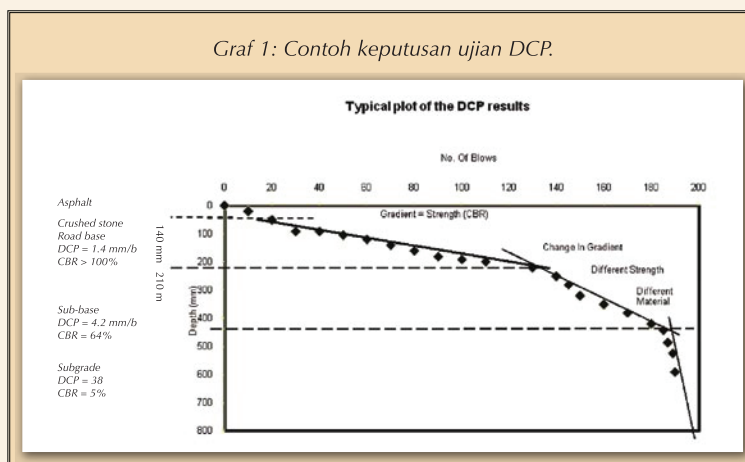
Kirakan  $T_A$  untuk lapisan pavemen sedia ada menggunakan maklumat yang diberikan di bawah:

- Tebal lapisan struktur pavemen diperolehi daripada keputusan ujian DCP adalah seperti yang ditunjukkan dalam Graf 1.

Lapisan asphalt	= 70 mm
Roadbase	= 140 mm, CBR > 100%
Sub-base	= 210 mm, CBR = 64%
CBR subgrade	= 5%

- Tahap keretakan lapisan asphalt: *Type 5*

Graf 1: Contoh keputusan ujian DCP.



Daripada Graf 1:

$$\begin{aligned} d_1 &= \text{ACW20} + \text{ACB28} &&= 70 \\ d_2 &= \text{Roadbase} &&= 140 \\ d_3 &= \text{Sub-base} &&= 210 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_1 &= 0.40 \text{ (rujuk Jadual 1)} \\ a_2 &= 0.32 \text{ (rujuk Jadual 3)} \\ a_3 &= 0.25 \text{ (rujuk Jadual 3)} \end{aligned}$$

$$T_A = a_1 d_1 + a_2 d_2 + a_3 d_3$$

$$T_{A \text{ (sedia ada)}} = (70 \times 0.40 + 140 \times 0.32 + 210 \times 0.25)$$

$$T_{A \text{ (sedia ada)}} = 123 \text{ mm}$$

$$T_{A \text{ (sedia ada)}} 123 \text{ mm} < T_{A \text{ (rekabentuk)}} 265 \text{ mm}$$

Oleh kerana  $T_{A \text{ (sedia ada)}} < T_{A \text{ (rekabentuk)}}$  maka struktur pavemen jalan ini perlu diperkukuhkan.

Jadual 1: Estimated values of structural coefficients for various conditions of asphalt.

Condition	Structural Coefficient
Sound, stable, uncracked. Little deformation in wheelpaths.	0.8
Crack type 1 and < 5 mm rutting.	0.7
Crack type 2 – 3, 5 – 10 mm rutting.	0.5
Crack type 4 or greater, > 10 mm rutting.	0.4

Jadual 3: Estimated values of structural coefficients for various conditions of base course.

Layer	CBR	Estimate of Structural Coefficient
Sub-base	> 30%	0.30
	20 – 30%	0.20
	< 20%	0.10
Road base	> 100%	0.32
	80 – 100%	0.30
	< 80%	0.25

## Cadangan baikpulih 1:

$$\begin{aligned}
 d_1 &= \text{ACW20} + \text{ACB28} &= 110 \text{ mm} \\
 d_2 &= \text{Roadbase} &= 340 \text{ mm} \\
 d_3 &= \text{Sub-base} &= 210 \text{ mm} \\
 a_1 &= 1.00 \\
 a_2 &= 0.35 \text{ (crushed aggregate)} \\
 a_3 &= 0.23 \text{ (CBR > 30\%)}
 \end{aligned}$$

(Bagi nilai  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  dan  $a_3$ , sila rujuk Jadual 3.3 Arahan Teknik (Jalan) 5/85, Pindaan 1/93).

$$\begin{aligned}
 T_A &= a_1 d_1 + a_2 d_2 + a_3 d_3 \\
 T_{A \text{ (baikpulih)}} &= (130 \times 1.00 + 340 \times 0.35 + 210 \times 0.23) \\
 T_{A \text{ (baikpulih)}} &= 297 \text{ mm} > T_{A \text{ (sedia ada)}} = 123 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Cadangan rekabentuk pavemen baru:

$$\begin{aligned}
 \text{ACW 20} &= 60 \text{ mm} \\
 \text{ACB 28} &= 70 \text{ mm} \\
 \text{Roadbase} &= 340 \text{ mm} \\
 \text{Sub-base} &= 210 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Cadangan rawatan pengukuhan struktur pavemen adalah seperti berikut:

1. Menambah ketebalan lapisan *roadbase* sebanyak 200 mm.
2. Penurapan semula lapisan *binder course* (ACB28) setebal 70 mm diikuti *wearing course* (ACW 20) setebal 60 mm.

## Sekiranya;

Keretakan *lapisan asphalt* adalah \* Type 2. Kira  $T_A$  pavemen sedia ada.

Daripada Graf 1:

$$\begin{aligned}
 d_1 &= \text{ACW20} + \text{ACB28} &= 70 \text{ mm} \\
 d_2 &= \text{Roadbase} &= 140 \text{ mm} \\
 d_3 &= \text{Sub-base} &= 210 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_1^* &= 0.50 \text{ (rujuk Jadual 1)} \\ a_2 &= 0.32 \text{ (rujuk Jadual 3)} \\ a_3 &= 0.30 \text{ (rujuk Jadual 3)} \end{aligned}$$

Maka  $T_A$  sedia ada adalah seperti berikut:

$$\begin{aligned} T_{A \text{ (sedia ada)}} &= a_1 d_1 + a_2 d_2 + a_3 d_3 \\ T_{A \text{ (sedia ada)}} &= (70 \times 0.50 + 140 \times 0.32 + 210 \times 0.30) \\ T_{A \text{ (sedia ada)}} &= 143 \text{ mm} \\ T_{A \text{ (sedia ada)}} &143 \text{ mm} < T_{A \text{ (rekabentuk)}} 265 \text{ mm} \end{aligned}$$

Oleh kerana  $T_{A \text{ (sedia ada)}} < T_{A \text{ (rekabentuk)}}$  maka struktur pavemen jalan ini perlu diperkukuhkan.

### Cadangan baikpulih 2:

$$\begin{aligned} d_1 &= \text{ACW20} &= 130 \text{ mm} \\ d_2 &= \text{Roadbase} &= 140 \text{ mm} \\ d_3 &= \text{Sub-base} &= 210 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_1 &= 1.00 \\ a_2 &= 0.35 \text{ (crushed aggregate)} \\ a_3 &= 0.23 \text{ (CBR > 30\%)} \\ T_{A \text{ (baikpulih)}} &= (130 \times 1.00 + 140 \times 0.35 + 210 \times 0.23) \\ &= 228 \text{ mm} \\ T_{A \text{ (baikpulih)}} &228 \text{ mm} > T_{A \text{ (sedia ada)}} 156 \text{ mm} \end{aligned}$$

(Bagi nilai  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  dan  $a_3$ , sila rujuk Jadual 3.3 Arahan Teknik (Jalan) 5/85, Pindaan 1/93).

Cadangan rekabentuk pavemen baru adalah:

$$\begin{aligned} \text{ACW 20} &= 130 \text{ mm} \\ \text{Roadbase} &= 140 \text{ mm} \\ \text{Sub-base} &= 210 \text{ mm} \end{aligned}$$

Cadangan rawatan pengukuhan struktur pavemen adalah dengan melakukan *crack sealing* terhadap keretakan pada permukaan pavemen sedia ada diikuti penurapan lapisan *wearing course* tidak kurang 60 mm.



*Pelaksanaan ujian DCP.*