

Rekabentuk Struktur Pavemen

Penilaian Pavemen

Sekiranya pavemen mengalami kerosakan yang serius, maka struktur pavemen perlu direkabentuk dengan mengambil kira kekuatan struktur pavemen sedia ada, baki jangka hayat yang tinggal, unjuran beban trafik dan jangka hayat yang ingin dilanjutkan. Ini melibatkan aktiviti yang lazimnya dipanggil penilaian pavemen.

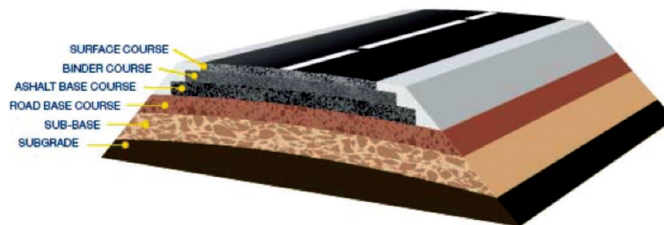
Mengapa perlu dijalankan penilaian ke atas struktur pavemen?

Penilaian pavemen dijalankan untuk mengukur kekuatan semasa struktur pavemen sedia ada dan menentukan kebolehtahanan pavemen untuk tempoh jangka hayat seterusnya. Dari analisis penilaian pavemen, sebarang kekurangan dan ketidakcukupan dari segi kekuatan struktur akan ditentukan dan kaedah pembaikan akan disediakan bagi mengembalikan semula tahap kekuatan yang diperlukan. Penilaian ke atas struktur pavemen biasanya merangkumi aspek-aspek penentuan jenis kerosakan, punca kerosakan, pengumpulan data pavemen dan trafik, dan analisis.

Fungsi Lapisan Struktur Pavemen

Apakah fungsi setiap lapisan struktur pavemen?

Pavemen terdiri dari beberapa lapisan struktur yang dibina di atas permukaan tanah sama ada semulajadi atau tanah tambakan yang dikenali sebagai subgrade. Lapisan struktur pavemen biasanya terdiri dari wearing course, binder course, roadbase, sub-base dan subgrade seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 1.



Rajah 1: Lapisan struktur pavemen.

a. Subgrade

Subgrade merupakan lapisan paling bawah dalam struktur pavemen. Ianya mungkin terdiri dari lapisan tambak atau lapisan tanah sedia ada yang dipotong bagi membentuk asas struktur jalan.

b. Sub-base

Lapisan sub-base berfungsi untuk mengagihkan beban trafik ke atas subgrade. Lapisan ini biasanya terdiri dari bahan crusher-runs yang lebih halus atau pasir dan bertindak sebagai lapisan pemisah antara roadbase dan subgrade. Lapisan sub-base juga dijadikan sebagai landasan bagi jentera dan lapisan saliran semasa menjalankan kerja pembinaan.

c. Lapisan saliran (drainage layer)

Lapisan saliran perlu diadakan sekiranya paras air bawah tanah berada kurang dari 300 mm di bawah permukaan subgrade bagi menghalang penepuan lapisan-lapisan pavemen.

d. Roadbase

Roadbase berfungsi untuk menampung beban trafik dan perlu direkabentuk supaya beban yang diagihkan tidak melebihi kekuatan subgrade. Lapisan ini dibina di atas sub-base dan lazimnya terdiri dari crusher-runs (biasanya batuan granit) dengan saiz yang lebih kasar.

e. Binder course

Lapisan pengikat merupakan lapisan asphalt yang dihamparkan di atas permukaan tapak jalan bagi menyediakan satu permukaan yang rata sebelum wearing course diturap. Lapisan pengikat akan mengagihkan beban yang dikenakan ke atasnya ke lapisan tapak jalan.

f. Wearing course

Wearing course merupakan lapisan permukaan jalan dan bertindak untuk menyediakan permukaan pemanduan yang selesa dan mengagihkan beban trafik ke binder course. Lapisan ini juga berfungsi untuk mencegah air dari meresap masuk ke lapisan struktur bawah. Ianya perlu direkabentuk agar tidak mudah mendap dan retak apabila dikenakan beban trafik yang berterusan.

Mengapa penilaian perlu dijalankan ke atas jalan rosak?

- Jalan yang mengalami kerosakan serius perlu dijalankan penilaian untuk menentukan kekuatan struktur pavemen sedia ada.
- Sekiranya kekuatan struktur pavemen sedia ada tidak mencukupi untuk menampung beban trafik sedia ada, rawatan seperti menampal pothole, menurap semula dan sebagainya tidak akan bertahan lama.
- Oleh itu, struktur pavemen perlu direkabentuk semula dengan mengambil kira beban trafik sedia ada, dan unjuran beban trafik akumulatif, lazimnya dari 5 hingga 10 tahun.

Persoalan-persoalan yang seharusnya dapat dijawab pada penghujung bab ini ialah seperti;

Apakah tahap peningkatan kekuatan struktur pavemen selepas dibaik pulih dengan teknik Cold In-Place Recycling (CIPR)?



Teknik CIPR.

Apakah tahap peningkatan kekuatan struktur pavemen selepas dibaik pulih dengan teknik mill and pave?



Teknik mill and pave.

Apakah pula tahap peningkatan kekuatan struktur pavemen selepas dibaik pulih dengan teknik overlay?



Teknik overlay.

Apakah garis panduan rekabentuk struktur pavemen?

Rekabentuk struktur pavemen bagi kerja penenggaraan berkala pavemen adalah berpandukan pada Seksyen 3 Arahan Teknik (Jalan) 5/85 (Pindaan 1/93) Manual on Pavement Design.



Beban Trafik

AASHO Road Test

Objektif utama AASHO Road Test yang dijalankan pada 1957 hingga 1961 adalah untuk mengkaji kesan kerosakan ke atas struktur pavemen oleh kenderaan berat yang dikaitkan dengan beban gandar (axle load).

Nota: American Association of State Highway Officials (AASHO). Pada tahun 1970an, AASHO ditukar nama kepada American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).

Hasil penemuan kajian tersebut menunjukkan kesan kerosakan bagi satu gandar adalah berkait rapat dengan *fourth power of the load* yang dibebani oleh gandar tersebut. Namun, kesan kerosakan tersebut tidak bergantung kepada jenis dan ketebalan pavemen.

Satu gandar dengan beban 8160 kg atau 8.16 tan dikira sebagai satu gandar standard (one standard axle)* dengan kesan kerosakan bernilai satu. Kesan kerosakan oleh gandar dengan beban yang lebih ringan atau lebih berat adalah dinyatakan dalam equivalent factor seperti ditunjukkan dalam Jadual 1.

Axle Load		Equivalent Factor	Axle Load		Equivalent Factor
kg	lb		kg	lb	
910	2,000	0.0002	9,980	22,000	2.3
1,810	4,000	0.0025	10,890	24,000	3.2
2,720	6,000	0.01	11,790	26,000	4.4
3,630	8,000	0.03	12,700	28,000	5.8
4,540	10,000	0.09	13,610	30,000	7.6
5,440	12,000	0.19	14,520	32,000	9.7
6,350	14,000	0.35	15,420	34,000	12.1
7,260	16,000	0.61	16,320	36,000	15.0
8,160	18,000	1*	17,230	38,000	18.6
9,070	20,000	1.5	18,140	40,000	22.8

Jadual 1: Kesan kerosakan bagi beban gandar yang berbeza (AASHO Road Test).

Equivalent factor 0.0002 bagi gandar dengan beban 910 kg bermakna laluan sebanyak 5,000 kali bagi gandar tersebut akan menyebabkan kerosakan yang sama seperti satu (1) kali laluan satu gandar standard. Manakala equivalent factor 22.8 bagi gandar dengan beban 18,140 kg bermakna satu (1) kali laluan gandar ini akan menyebabkan kerosakan yang sama seperti 23 kali laluan satu gandar standard.

Jadual 1 melanjutkan aplikasi fourth power law sehingga 18,140 kg atau 18.14 tan. Terdapat bukti bahawa apabila beban gandar semakin berat, angka fourth power law akan meningkat kepada 5 atau 6. Oleh itu, ekstrapolasi melebihi beban gandar 18,140 kg atau 18.14 tan adalah tidak digalakkan.

Standard Axle Load dan Equivalent Factor

Apakah itu standard axle load dan equivalent factor?

A standard axle load (satu beban gandar standard) ialah;

- Satu gandar (an axle) dengan beban 8160 kg yang memberi impak kerosakan satu unit.
- Impak kerosakan oleh satu gandar dengan beban yang lebih ringan atau lebih berat dinyatakan dalam 'equivalent factor'.
- Impak kerosakan bagi satu gandar adalah berkait rapat dengan '4th power of the load' yang dibebani oleh gandar tersebut.

Contoh:

Axle Load, kg	Equivalent Factor	Axle Load, kg	Equivalent Factor
910	0.0002	9980	2.3
1810	0.0025	10890	3.2
2720	0.01	11790	4.4
3630	0.03	12700	5.8
4540	0.09	13610	7.6
5440	0.19	14520	9.7
6350	0.35	15420	12.1
7260	0.61	16320	15.0
8160	1*	17230	18.6
9070	1.5	18140	22.8

$$\frac{9070^4}{8160^4} = 1.53$$

Bagi axle load 910 kg, equivalent factor 0.0002 bermakna 5000 kali laluan gandar tersebut memberi impak kerosakan sama dengan 1 kali laluan gandar 8160 kg.

$$\frac{2}{10000} \times 5000 = 1$$

Axle load 18140 kg, equivalent factor 22.8. Ini bermakna 1 kali laluan gandar tersebut memberi impak kerosakan sama dengan hampir 23 kali laluan gandar 8160 kg.





Pengiraan Beban Trafik

- Informasi trafik diperlukan apabila rekabentuk kaedah pembaikan pavemen hendak dilakukan.
- Prestasi pavemen bergantung pada isipadu dan beban gandar kenderaan yang dikenakan secara berulang terhadap pavemen tersebut dari segi magnitud dan bilangan laluan tayar.
- Kajian menunjukkan bahawa kenderaan berat kurang dari 1500 kg tidak akan menyebabkan kerosakan yang nyata.
- Kerosakan pavemen adalah disebabkan oleh kenderaan yang lebih berat.
- Beban gandar standard yang digunakan sebagai pengiraan kuantitatif bagi kesan kerosakan pada pavemen telah dikenalpasti mempunyai berat 8160 kg (8.16 tan).
- Apabila sebuah laluan dinaiktaraf atau dibaikpulih, kajian yang teliti tentang impaknya terhadap perubahan isipadu dan beban trafik perlu dijalankan.

Apakah kategori beban trafik?

Faktor-faktor seperti perubahan pada kegunaan tanah berkemungkinan tinggi menyebabkan isipadu trafik jalan akan berubah setelah pavemen dinaiktaraf. Kajian origin-destination digabungkan dengan kajian beban gandar adalah kaedah terbaik yang digunakan untuk meramal isipadu dan jenis trafik di sesebuah kawasan kajian.

Selain dari trafik normal, terdapat juga trafik tambahan yang terbentuk dari trafik terjana (generated traffic) dan trafik yang melecong (diverted traffic). Berikut adalah kategori-kategori trafik yang perlu diambilkira dalam menjalankan kajian:

Trafik normal

- Kategori trafik jenis ini akan melalui jalan sedia ada walaupun tiada penambahbaikan dilaksanakan pada jalan tersebut.
- Data bancian trafik sedia ada oleh Bahagian Perancang Jalan, Kementerian Kerja Raya merupakan kategori trafik jenis ini.

Trafik terjana

- Trafik terjana akan berlaku apabila penambahbaikan jalan yang meningkatkan kecekapan sistem pengangkutan menyebabkan peningkatan jumlah trafik di jalan tersebut.
- Trafik kategori ini adalah sukar untuk diramalkan dengan tepat. Ia cuma akan menjadi signifikan jika pengurangan dalam kos pengangkutan dapat dicapai apabila laluan tersebut digunakan.
- Dalam kebanyakan kes, trafik terjana pada rangkaian Jalan Persekutuan boleh diabaikan.

Trafik melencong

- Apabila keadaan jalan bertambah baik, akan terdapat trafik dari jalan yang lain yang akan memilih untuk menggunakan jalan tersebut yang dinamakan trafik melencong.
- Di dalam kes ini, adalah penting untuk kajian origin-destination dilaksanakan untuk memperolehi data bagi trafik yang berkemungkinan untuk melencong.
- Kajian ini seharusnya dilaksanakan bagi projek yang mempunyai jumlah peruntukan bagi kerja pembaikan yang besar. Andaian boleh dibuat bahawa semua kenderaan akan melencong ke jalan yang telah dibaiki jika ianya menjimatkan masa dan kos.

Trafik khas

- Di Malaysia, pembangunan ekonomi telah menambahkan aktiviti pengangkutan di mana bahan berat yang diangkut telah mengakibatkan kerosakan yang signifikan pada struktur pavemen.
- Jika pembangunan dapat diramal atau dikenalpasti terlebih awal, kesan pembangunan ini terhadap isipadu dan beban trafik boleh diambilkira dalam rekabentuk pembaikan jalan.
- Dalam kes tertentu, kerosakan pada jalan adalah berbeza bagi satu hala jika dibandingkan dengan hala yang bertentangan. Rekabentuk bagi kaedah pembaikan haruslah mengambilkira keadaan ini terutamanya jika perbezaan kerosakan adalah sangat signifikan.

Bagaimanakah beban trafik dikira?

- Bahagian Perancang Jalan mengadakan bancian trafik sebanyak dua (2) kali setahun di seluruh negara pada bulan April dan Oktober. Namun begitu, kajian khas perlu dilakukan untuk mendapatkan informasi bagi berat beban gandar dan origin-destination.
- Pengiraan beban trafik boleh dilaksanakan secara manual menggunakan hand-held tally counters. Beberapa kumpulan dibahagikan untuk mengira bilangan dan jenis kenderaan dalam kedua-dua arah.
- Untuk kajian khas, adalah disyorkan untuk membuat pengiraan selama tujuh (7) hari berturut-turut selama 24 jam kerana kenderaan berat adalah lebih aktif pada waktu malam. Sekiranya ini terlalu sukar, bancian selama 16 jam boleh dilakukan dengan sekurang-kurangnya sehari bancian 24 jam agar anggaran kasar nilainya lengkap 24 jam.

Bagaimanakah beban gandar dikira?

- Pengiraan beban gandar dilaksanakan bersama dengan bancian trafik semasa kajian khas dijalankan. Alat penimbang gandar mudah alih boleh digunakan untuk menyukat berat roda bagi setiap gandar. Beban gandar adalah dua kali berat roda itu.
- Kajian beban gandar dilakukan untuk menganggar kesan kerosakan kenderaan berat terhadap struktur pavemen yang digunakan dalam rekabentuk struktur pavemen bagi kerja pemulihan atau kerja pembinaan. Pengiraan bagi faktor kesan kerosakan untuk setiap berat gandar adalah seperti di bawah:

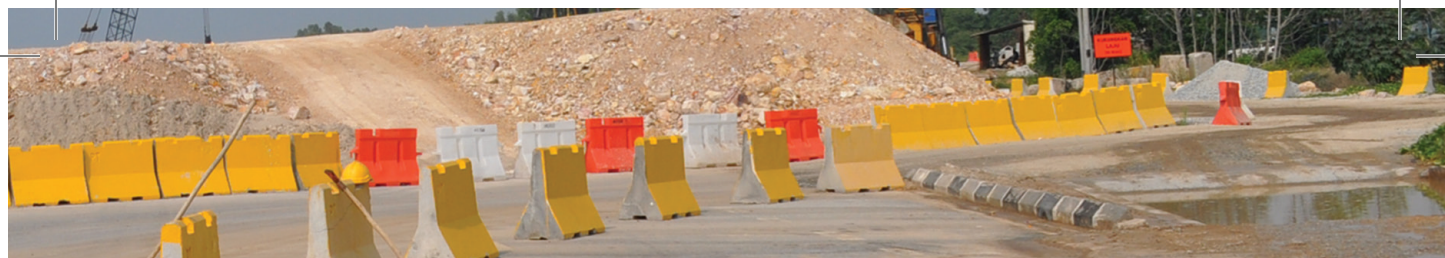
Equivalent factor or damaging effect,

di mana;

$$EF = \left(\frac{N}{8.16} \right)^{4.55}$$

N = Beban gandar (dalam tan)
4.55 = Eksponen kesetaraan beban
8.16 = Beban gandar standard

- Sekiranya kajian berat beban gandar tidak dapat dilaksanakan, faktor kesamaan (equivalent factor), EF seperti Jadual 3.1 Arahan Teknik (Jalan) 5/85 (Pindaan 2013) di bawah boleh digunakan.



Jadual 3.1 Arahan Teknik (Jalan) 5/85 (Pindaan 2013)

Peratusan kenderaan berat terpilih* (percentage of selected heavy goods vehicles)	0 – 15%		16 – 50%	51 – 100%
Jenis faktor kesamaan jalan (type of road equivalent factor)	Local 1.2	Trunk 2.0	3.0	3.7

- d. Untuk melaksanakan kerja rekabentuk menaiktaraf atau pembaikan, adalah penting untuk mengambilkira kumulatif beban gandar standard setara (ESAL) tahunan seperti berikut:

$$ESAL = EF \times ADT \times 365$$

- e. Data tahun kajian digunakan sebagai dasar dalam unjuran ESAL. Merujuk kepada data-data trafik yang lepas, kadar pertumbuhan trafik boleh dianggarkan. Formula pengiraan kumulatif beban gandar standard setara bagi jangka hayat rekabentuk (n) adalah:

$$ESAL = \frac{YESAL \times [(1+r)^n - 1]}{r}$$

Di mana;

YESAL = beban gandar standard setara tahun dasar
 r = kadar pertumbuhan trafik
 n = jangka hayat rekabentuk (tahun)

Contoh:

Pada tahun 2010, sebuah kajian khas beban gandar bagi 600 buah kenderaan pada Laluan A telah memberikan keputusan seperti Jadual 1 di bawah. Adalah dijangka bahawa kadar pertumbuhan penggunaan kenderaan berat bagi Laluan A adalah 5% setahun.

- Tentukan kumulatif beban gandar standard setara (ESAL) tahunan bagi jalan tersebut.
- Tentukan anggaran kumulatif beban gandar standard setara (ESAL) tahunan bagi jalan tersebut pada tahun 2020.

Julat Berat Gandar (kN)	Jumlah Kenderaan Berat
0 – 3.6	120
3.9 – 7.2	210
7.2 – 10.8	150
10.8 – 14.4	120

Penyelesaian:

Julat Berat Gandar (kN)	Purata Berat Gandar (kN)	Jumlah Kenderaan Berat	EF	ESAL
0 – 3.6	1.8	120	0.0010	0.12
3.9 – 7.2	5.6	210	0.1803	37.86
7.2 – 10.8	9.0	150	1.5618	234.27
10.8 – 14.4	12.6	120	7.2193	866.32

Pengiraan EF

$$EF = (N/8.16)^{4.55}$$

- a. $(1.8/8.16)^{4.55} = 0.0010$
- b. $(5.6/8.16)^{4.55} = 0.1803$
- c. $(9.0/8.16)^{4.55} = 1.5618$
- d. $(12.6/8.16)^{4.55} = 7.2193$

Pengiraan ESAL

$$ESAL = EF \times \Sigma \text{Kenderaan Berat}$$

- a. $0.0010 \times 120 = 0.12$
- b. $0.1803 \times 210 = 37.86$
- c. $1.5618 \times 150 = 234.27$
- d. $7.2193 \times 120 = 866.32$
- Jumlah** $= 1,138.57$

Oleh itu, kumulatif beban gandar setara (ESAL) tahunan bagi jalan tersebut adalah:

$$ESAL = 1,138.57 \times 365 = 415,476 \text{ standard axles}$$

Pengiraan ESAL tahunan pada tahun 2020:

$$\begin{aligned}
 ESAL &= YESAL \times [(1+r)^n - 1] / r \\
 &= 415,579 \times [(1+0.05)^{10} - 1] / 0.05 \\
 &= 5,227,108 \\
 &= 5.2 \text{ million standard axles (msa)}
 \end{aligned}$$



Apakah panduan yang boleh digunakan dalam mengurangkan kesilapan dalam pengiraan?

Kesilapan dalam anggaran trafik bagi penilaian pavemen adalah seperti yang diterangkan berikut. Untuk mengurangkan kesilapan, panduan berikut boleh digunakan:

a. Kiraan trafik.

Adalah digalakkan supaya kiraan isipadu trafik harian diulang beberapa kali untuk mengurangkan kesilapan dalam penghasilan data. Selain itu, kajian khas bagi data trafik adalah lebih digalakkan dari bergantung pada data kajian trafik berkala.

b. Timbangan dan anggaran berat gandar.

Penimbang statik adalah lebih jitu tetapi agak lambat dan cuma bilangan sampel yang kecil boleh diperolehi. Pelapik penimbang haruslah searas dengan kawasan persekitaran ujian. Kaedah weight-in-motion adalah lebih cepat dan dapat menjalankan ujian terhadap sampel yang lebih banyak tetapi adalah kurang jitu berbanding penimbang statik. Oleh itu, ia memerlukan kepakaran kalibrasi untuk mendapatkan data yang jitu.

c. Penukaran pada kesan kerosakan (damaging effect).

Formula yang dinyatakan di atas adalah tertakluk pada sebarang perubahan. Apabila lebih banyak kajian mengenainya dilaksanakan di Malaysia, mungkin keputusan yang lebih tepat dapat diperolehi.

d. Anggaran pertumbuhan trafik.

Untuk menganggar kadar pertumbuhan bagi kenderaan berat, pengetahuan serba sedikit mengenai ekonomi negara adalah penting. Oleh itu, perbincangan dan nasihat dari pakar ekonomi adalah sangat berharga. Secara kasar, anggapan boleh dibuat bahawa kadar pertumbuhan bagi kenderaan berat adalah sama atau dua kali ganda pertumbuhan keluaran negara kasar (GNP).

e. Perbezaan trafik bagi haluan berbeza.

Pada laluan tertentu, perbezaan kesan kerosakan permukaan jalan diakibatkan oleh kenderaan berat boleh menjadi besar kerana lori bagi industri seperti pembalakan, kuari, pelabuhan dan industri berat yang lain adalah sarat dengan muatan apabila keluar dari kawasan perindustrian tetapi kosong apabila bergerak masuk. Keadaan ini harus diambilkira apabila menjalankan rekabentuk kerja pembaikan ke atas sesuatu jalan.

Bagaimanakah cara untuk mengira anggaran impak kerosakan (load equivalent factor)?

Axle load survey dijalankan untuk mengira anggaran impak kerosakan kenderaan berat ke atas struktur pavemen.

EF bagi setiap gandar yang ditimbang;

$$EF = (N/8.16)^{4.55}$$

N = Beban gandar (tan)

EF = Equivalent factor (impak kerosakan)

8.16 = Standard axle load (tan)

Contoh:

24-hour axle load survey

Jenis Kenderaan Berat	Jumlah EF	Jumlah Kenderaan	Purata EF
A	738	225	3.28
B	1000	350	2.86
C	270	125	2.16
D	200	150	1.33

Purata EF = Standard axle per commercial vehicle

Contoh:

Jenis Kenderaan/ Hari	Jenis Kenderaan			
	A	B	C	D
1	125	212	95	45
2	186	255	72	56
3	172	189	88	62
4	144	156	86	52
5	131	178	67	55
6	122	119	66	49
7	91	120	43	12
PURATA KENDERAAN	139	176	72	47
STANDARD AXLE PER COMMERCIAL VEHICLE	3.28	2.86	2.16	1.33
CUMULATIVE YEARLY STANDARD AXLE	166,410	183,726	56,765	22,816

$$\begin{aligned}\text{Total yearly cumulative standard axle} &= 166,410 + 183,726 + 56,765 + 22,816 \\ &= 429,717 \text{ (or equivalent standard axle of base year)}\end{aligned}$$

$$\text{Cumulative equivalent standard axle load ESAL} = 429,717 \times [(1+r)^n - 1]/r$$

Where;

r = growth rate = 0.05 (5%)

n = design period = 10 years

ESAL = 5.4 million

Bagaimanakah cara untuk mengira unjuran trafik dan beban gandar?

- Dapatkan purata trafik harian (average daily traffic ADT) dari Bahagian Perancang Jalan (BPJ).
- Dapatkan peratus kenderaan perdagangan (Pc) dari BPJ (kenderaan perdagangan adalah kenderaan tanpa muatan yang melebihi berat 1.5 tan).
- Dapatkan kadar pertumbuhan trafik tahunan (r) dari BPJ.
- Kira bilangan kenderaan perdagangan tahunan bagi satu hala (Vo):

$$V_o = \text{ADT} \times 365 \times P_c / 100 \times \text{directional split} \quad (\text{directional split} = 0.5 \text{ sekiranya tidak diketahui})$$

- Kira jumlah kenderaan perdagangan bagi satu hala (Vc);

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

n = hayat rekabentuk (tahun)

- Kira Equivalent Standard Axle Load (ESAL)

$$\text{ESAL} = V_{c_1} \times e_1 + V_{c_2} \times e_2 + \dots + V_{c_n} \times e_n$$

V_{c_n} = jumlah kenderaan untuk setiap kategori gandar

e_n = equivalent factor untuk setiap kategori gandar (lihat Table 3.1 Arahan Teknik (Jalan) 5/85, Pindaan 1/93)

- Jika tiada tinjauan terhadap beban gandar dilakukan, gunakan 2.52 sebagai equivalent factor.

Dynamic Cone Penetrometer

Apakah itu Dynamic Cone Penetrometer (DCP)?

DCP ialah satu peralatan ujian yang dapat menentukan secara in-situ di tapak, kekuatan dan ketebalan setiap lapisan struktur pavemen.

Apakah kegunaan DCP?

Ia digunakan untuk mengukur secara langsung daya rintangan setiap lapisan pavemen terhadap penusukan, dengan itu secara tidak langsung mengukur kekuatan lapisan tersebut. Lapisan pavemen yang dimaksudkan adalah jenis 'unbound', dan bukan konkrit atau asphalt.

Apakah had kedalaman DCP?

Kekuatan mana-mana lapisan pavemen dapat ditentukan sehingga kedalaman 1 meter. Di mana terdapat pelbagai lapisan pavemen dengan kekuatan yang berbeza, setiap lapisan tersebut dapat dikenal pasti kekuatannya, dan ketebalannya, dengan menggunakan DCP.

Apakah hubungkait antara DCP dan CBR?

Terdapat hubungkait di antara rintangan terhadap tusukan yang diukur dengan DCP, dengan California Bearing Ratio (CBR) bagi membolehkan rintangan tersebut diterjemahkan kepada kekuatan lapisan pavemen dalam nilai CBR. Rintangan tusukan diukur dalam millimeter per hentakan (DCP Number).

Kaitan antara DCP dan CBR;

$$\text{CBR} = \frac{269}{\text{DCP}}$$

Bagaimanakah cara melaksanakan ujian DCP?

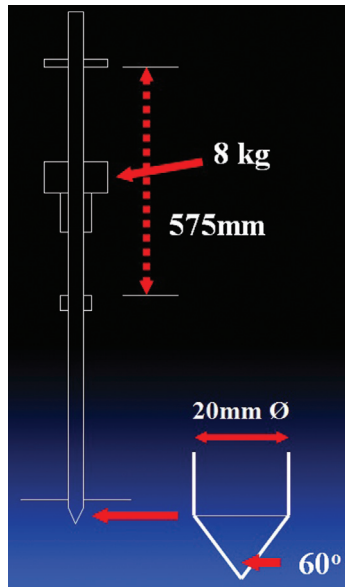
Pelaksanaan ujian DCP memerlukan tiga (3) orang kakitangan, seorang untuk memegang peralatan, seorang lagi untuk mengangkat dan melepaskan beban hentakan seberat 8 kg pada jarak 575 mm manakala orang ketiga ditugaskan untuk mencatat bacaan.





Apakah peralatan DCP?

Saiz batang DCP ialah 20 mm garis pusat dengan kon 60° bagi menembusi lapisan pavemen.



Schematic diagram peralatan DCP.

Bagaimanakah bacaan DCP diambil?

Adalah lebih mudah bagi mencatatkan bacaan selepas setiap bilangan hentakan tertentu berbanding selepas kedalaman tusukan tertentu. Bagi lapisan granular roadbase yang baik, bacaan setiap 5-10 hentakan adalah lebih sesuai. Walau bagaimanapun, tidak salah sekiranya mengambil bacaan lebih kerap. Tetapi, sekiranya bacaan diambil adalah sedikit, analisis ke atas ketebalan sesuatu lapisan pavemen tidak akan tepat.

Kadangkala, terdapat kesukaran untuk menembusi lapisan pavemen khususnya roadbase yang dibina dengan crusher-run. Kadar tusukan serendah 0.5 mm bagi setiap hentakan biasa dicatatkan tetapi sekiranya tiada tusukan selepas 20 hentakan, maka boleh dianggap DCP telah tersekat oleh bahan yang keras. Oleh itu, DCP boleh dicabut dan dianjak ke lokasi berdekatan.

Ujian DCP tidak harus dijalankan ke atas lapisan asphalt. Lapisan tersebut seharusnya di 'core' terlebih dahulu sehingga ke permukaan granular roadbase. Ujian DCP hanya dimulakan ke atas permukaan roadbase tersebut.

Bagaimanakah cara untuk mencatat keputusan ujian DCP?

Keputusan ujian DCP dicatat dalam borang seperti di Rajah 1;

DCP TEST								
Site/Road	=	Muar, Johor	Date	=	21/8/2011			
Test No.	=	6	Initial Reading of DCP	=	63 mm			
Sec. No./Chainage	=		Started test at	=	Top of bituminous surfacing			
Direction	=	South						
Wheelpath	=	Verge side						

No. Blows	Σ Blows	mm	No. Blows	Σ Blows	mm	No. Blows	Σ Blows	mm
0	0	63	5	160	408	1	186	824
10	10	75	5	165	434			
10	20	89	3	168	457			
10	30	99	1	169	466			
10	40	118	1	170	477			
10	50	130	1	171	491			
10	60	149	1	172	513			
10	70	166	1	173	539			
10	80	181	1	174	565			
10	90	204	1	175	592			
10	100	215	1	176	620			
10	110	230	1	177	647			
10	120	253	1	178	664			
5	125	269	1	179	686			
5	130	289	1	180	705			
5	135	307	1	181	724			
5	140	326	1	182	744			
5	145	347	1	183	764			
5	150	364	1	184	704			
5	155	385	1	185	804			

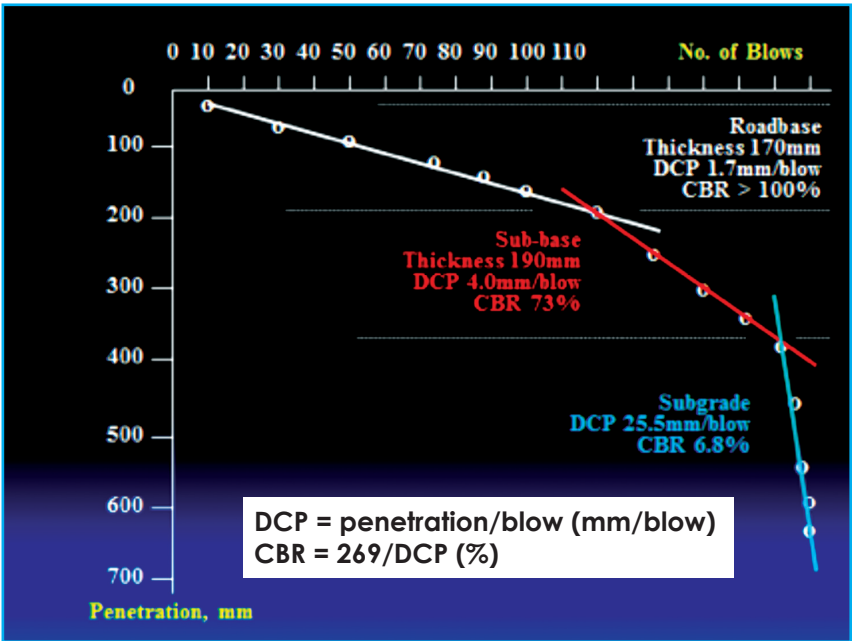
Rajah 1: Contoh borang keputusan ujian DCP.





Bagaimanakah cara untuk menganalisis keputusan ujian DCP?

Keputusan ujian DCP dicatat dalam borang seperti di Rajah 1, kemudian diplot dalam graf tusukan (mm) lawan bilangan hentakan. DCP Number (mm/hentakan) ialah kecerunan (gradient) garisan dalam graf seperti dalam Rajah 2. Gradient garisan akan berubah mengikut lapisan pavemen yang ditembusi. Sempadan setiap lapisan pavemen ditanda pada titik di mana gradient mula berubah. Nilai ketebalan (mm) dan kekuatan (CBR) bagi setiap lapisan pavemen diperolehi dari graf seperti ditunjukkan dalam Rajah 2.



Rajah 2: Graf bagi keputusan ujian DCP.

Apakah tujuan dijalankan ujian DCP?

Tujuan dijalankan ujian DCP ialah untuk mendapatkan:

- Ketebalan setiap lapisan pavemen.
- Kekuatan setiap lapisan pavemen.

Subgrade California Bearing Ratio

Bagaimanakah cara menentukan nilai California Bearing Ratio (CBR) bagi subgrade?

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

$$\text{CBR} = \left[\frac{h_1 \text{CBR}_1^{1/3} + h_n \text{CBR}_2^{1/3} + h_2 \text{CBR}_n^{1/3}}{1000} \right]^3$$

CBR_n = nilai CBR setiap lapisan (%)

h_n = tebal setiap lapisan (mm)

Rekabentuk Struktur Baru Pavemen

Bagaimanakah cara membuat rekabentuk struktur baru pavemen?

- Tentukan equivalent total pavement thickness, T_A (mm) dari Figure 3.1 Arahan Teknik (Jalan) 5/85, Pindaan 1/93, berdasarkan nilai CBR rekabentuk subgrade dan equivalent standard axle load (ESAL).
- 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.
- Kira equivalent total pavement thickness, T_A (mm) untuk lapisan sedia ada berdasarkan pada keputusan CBR dan keadaan pavemen sedia ada.
- Nilai CBR untuk pavemen sedia ada diperolehi dari ujian Dynamic Cone Penetrometer (DCP).

$$\begin{aligned} T_A &= a_1 d_1 + a_2 d_2 + \dots + a_n d_n \\ a_n &= \text{pekali struktur lapisan (lihat Jadual 1 dan Jadual 3).} \\ d_n &= \text{tebal setiap lapisan pavemen.} \end{aligned}$$

Penilaian Pavemen Sedia Ada

Bagaimanakah cara menilai struktur pavemen sedia ada?

- Untuk pavemen sedia ada, pekali struktur untuk lapisan berbitumen (asphalt) dianggarkan berdasarkan keadaan permukaan jalan dan tahap keretakan (lihat Jadual 1 & Jadual 2).
- Pekali struktur untuk roadbase dan sub-base sedia ada dianggarkan berdasarkan pada keputusan ujian DCP (lihat Jadual 3).

Condition	Structural coefficient
Sound, stable, uncracked. Little deformation in wheelpaths.	0.8
Crack type 1, < 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 1: Estimated values of structural coefficient for various conditions of asphalt.

Severity of crack
0 - No crack
1 - Single crack
2 - Many cracks but not interconnected
3 - Block cracks
4 - Crocodile cracks
5 - Crocodile cracks and spalling

Jadual 2: Penentuan tahap keretakan.

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

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



Tahap keretakan.

Pengiraan Rekabentuk Struktur Pavemen

Contoh 1:

Membaikpulih struktur pavemen untuk jalan utama 2 lorong berdasarkan parameter di bawah:

Initial daily traffic volume, ADT	12,000
Directional split	55/45
Percentage of commercial vehicles, Pc	15%
Annual growth rate, r	7%
Hayat rekabentuk, n	8 tahun
Axle load survey	NA

Penyelesaian:

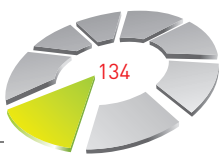
i. Penentuan TA rekabentuk pavemen

$$\begin{aligned}
 V_o &= \text{ADT} \times 365 \times \text{Pc}/100 \times \text{directional split} \\
 &= 12,000 \times 365 \times (15/100) \times 0.55 \\
 &= 362,000 \text{ kenderaan}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= V_o \left[\frac{(1+r)^n - 1}{r} \right] \\
 &= 362,000 \left[\frac{(1+0.07)^8 - 1}{0.07} \right] \\
 &= 3.7 \times 10^6 \text{ kenderaan}
 \end{aligned}$$

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

(*Tiada kajian axle load. Jadi, equivalent factor = 2.52)



Dari pengiraan,

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

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

$$T_A \text{ (rekabentuk)} = 265 \text{ mm}$$

Daripada Graf 1 (keputusan ujian DCP):

$$\begin{aligned}d_1 &= \text{ACW20} + \text{ACB28} = 70 \\ d_2 &= \text{Roadbase} = 140 \\ d_3 &= \text{Sub-base} = 210 \\ a_1 &= 0.40 \text{ (rujuk Jadual 1)} \\ a_2 &= 0.32 \text{ (rujuk Jadual 3)} \\ a_3 &= 0.30 \text{ (rujuk Jadual 3)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T_A &= a_1 d_1 + a_2 d_2 + a_3 d_3 \\ T_A \text{ (sedia ada)} &= (70 \times 0.40 + 140 \times 0.32 + 210 \times 0.30) \\ T_A \text{ (sedia ada)} &= 136 \text{ mm} \\ \bullet \quad T_A \text{ (sedia ada)} 136 \text{ mm} &< T_A \text{ (rekabentuk)} 265 \text{ mm}\end{aligned}$$

Oleh kerana T_A (sedia ada) $<$ T_A (rekabentuk) maka struktur pavemen ini PERLU diperkukuhkan.

Cadangan Baikpulih 1:

$$\begin{aligned}d_1 &= \text{ACW20} + \text{ACB28} = 110 \text{ mm} \\ d_2 &= \text{Roadbase} = 340 \text{ mm} \\ d_3 &= \text{Sub-base} = 210 \text{ mm} \\ a_1 &= 1.00 \\ a_2 &= 0.32 \text{ (crushed aggregate)} \\ a_3 &= 0.30 \text{ (CBR} > 30\%\text{)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T_A &= a_1 d_1 + a_2 d_2 + a_3 d_3 \\ T_A \text{ (baikpulih)} &= (110 \times 1.00 + 340 \times 0.32 + 210 \times 0.30) \\ \bullet \quad T_A \text{ (baikpulih)} 282 \text{ mm} &> T_A \text{ (rekabentuk)} 265 \text{ mm}\end{aligned}$$

i. Cadangan rekabentuk pavemen baru:

$$\begin{aligned}\text{ACW 20} &= 50 \text{ mm} \\ \text{ACB 28} &= 60 \text{ mm} \\ \text{Roadbase} &= 340 \text{ mm} \\ \text{Sub-base} &= 210 \text{ mm}\end{aligned}$$

ii. Cadangan rawatan pengukuhan struktur pavemen adalah seperti berikut:

1. Menambah ketebalan lapisan roadbase sebanyak 200 mm.
2. Menurap binder course (ACB 28) 60 mm, diikuti wearing course (ACW 20) 50 mm.

- iii. Sekiranya keretakan lapisan asphalt adalah tahap 2, kira T_A pavemen sedia ada (dari Graf 1):

$$\begin{aligned}d_1 &= \text{ACW20} + \text{ACB28} &= 70 \\d_2 &= \text{Roadbase} &= 140 \\d_3 &= \text{Sub-base} &= 210 \\a_1^* &= 0.50 \text{ (rujuk Jadual 1)} \\a_2 &= 0.32 \text{ (rujuk Jadual 3)} \\a_3 &= 0.30 \text{ (rujuk Jadual 3)}\end{aligned}$$

Maka T_A sedia ada adalah seperti berikut:

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

Oleh kerana T_A (sedia ada) $< T_A$ (rekabentuk), maka struktur pavemen ini perlu diperkukuhkan.

Cadangan Baikpulih 2:

$$\begin{aligned}d_1 &= \text{ACW20} &= 160 \text{ mm} \\d_2 &= \text{Roadbase} &= 140 \text{ mm} \\d_3 &= \text{Sub-base} &= 210 \text{ mm} \\a_1 &= 1.00 \\a_2 &= 0.32 \text{ (crushed aggregate)} \\a_3 &= 0.30 \text{ (CBR} > 30\%) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T_A \text{ (baikpulih)} &= (160 \times 1.00 + 140 \times 0.32 + 210 \times 0.30) \\&= 268 \text{ mm}\end{aligned}$$

Oleh itu, T_A (baikpulih) 268 mm $> T_A$ (rekabentuk) 265 mm OK!

- i. Cadangan rekabentuk pavemen baru adalah:

$$\begin{aligned}\text{ACW 20} &= 160 \text{ mm} \\ \text{Roadbase} &= 140 \text{ mm} \\ \text{Sub-base} &= 210 \text{ mm}\end{aligned}$$

- ii. Cadangan rawatan pengukuhan struktur pavemen adalah dengan melakukan crack sealing terhadap keretakan pada permukaan pavemen sedia ada (keretakan tahap 2, boleh dilaksanakan crack sealing) diikuti dengan menurap asphalt (overlay) tidak kurang dari 90 mm (ketebalan asphalt sedia ada 70 mm).

Contoh 2:

Dari pemerhatian keadaan permukaan jalan (surface condition survey), coring dan DCP, pavemen sedia ada telah mengalami keretakan (tahap 3) dan rutting 5 – 10 mm. Struktur pavemen terdiri dari 100 mm asphalt, 300 mm roadbase dan 200 mm sub-base. Pekali struktur bagi setiap lapisan, berdasarkan ujian DCP, Jadual 1 dan Jadual 3;

h_1	100 mm
a_1	0.5
h_2	300 mm
a_2	0.3
h_3	200 mm
a_3	0.2
Subgrade CBR	5%

Annual Average Daily Traffic, AADT	6,500
Percentage of commercial vehicles, P_c	20%
Average equivalent standard axle per commercial vehicle, EF	3.0
Annual growth rate, r	5%
Hayat rekabentuk, n	10 tahun

Annual commercial vehicle in one direction,

$$V_o = \text{AADT} \times 365 \times P_c \times 0.5 = 237250$$

Accumulated commercial vehicle over design life,

$$V_c = V_o [(1 + r)^n - 1]/r = 2,984,105$$

Design traffic, ESAL,

$$\text{ESAL} = V_c \times \text{EF} = 8.9 \times 10^6 \sim 9 \text{ msa}$$

Design loading = 9 msa, CBR = 5%

Required Equivalent Thickness, $T_A = 290 \text{ mm}$

Existing Equivalent Thickness, T_E

$$\begin{aligned} T_E &= h_1 a_1 + h_2 a_2 + h_3 a_3 \\ &= 100(0.5) + 300(0.3) + 200(0.2) \\ &= 180 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\bullet T_E = 180 \text{ mm} < T_A = 290 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Required Overlay } T_o &= 290 - 180 = 110 \text{ mm} \\ &(\text{for new asphalt} = 1.0) \end{aligned}$$

Mill 100 mm, Pave 100 mm

Pave 60 mm ACB + 40 mm ACW = 100 mm

$$T_e \text{ gain} = 100 \times 1.0 \quad (a_1 \text{ for new asphalt} = 1.0) \\ = 100 \text{ mm}$$

$$T_e \text{ loss} = 100 \times 0.5 \quad (\text{mill 100 mm, coefficient } a_1 = 0.5) \\ = 50 \text{ mm}$$

$$T_e \text{ nett} = T_e \text{ gain} - T_e \text{ loss} \\ = 100 - 50 \\ = 50 \text{ mm} < T_o \quad \text{TIDAK OK!}$$

Mill 100 mm, Pave 160 mm

Pave 100 mm ACB + 60 mm ACW = 160 mm

$$T_e \text{ gain} = 160 \times 1.0 \quad (a_1 \text{ for new asphalt} = 1.0) \\ = 160 \text{ mm}$$

$$T_e \text{ loss} = 100 \times 0.5 \quad (\text{mill 100 mm, coefficient } a_1 = 0.5) \\ = 50 \text{ mm}$$

$$T_e \text{ nett} = T_e \text{ gain} - T_e \text{ loss} \\ = 160 - 50 \\ = 110 \text{ mm} > T_o \quad \text{OK!}$$

CIPR (simen) ($\alpha = 0.45$)

CIPR 200 mm + 50 mm ACB + 40 mm ACW

$$T_e \text{ gain} = 200(0.45) + 90(1.0) \quad (a_1 \text{ for new asphalt} = 1.0) \\ = 180 \text{ mm}$$

$$T_e \text{ loss} = 100(0.5) + 100(0.3) \quad (\text{mill 100 mm asphalt + mill 100 mm roadbase}) \\ = 80 \text{ mm}$$

$$T_e \text{ nett} = T_e \text{ gain} - T_e \text{ loss} \\ = 180 - 80 \\ = 100 \text{ mm} < T_o \quad \text{TIDAK OK!}$$

CIPR (simen) ($\alpha = 0.45$)

CIPR 200 mm + 60 mm ACB + 40 mm ACW

$$T_e \text{ gain} = 200(0.45) + 100(1.0) \quad (a_1 \text{ for new asphalt} = 1.0) \\ = 190 \text{ mm}$$

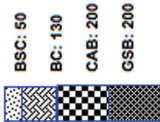
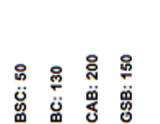
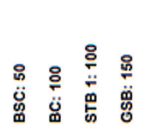
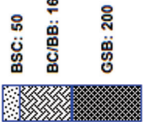
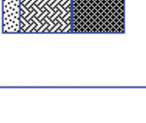
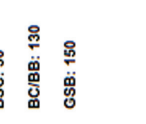
$$T_e \text{ loss} = 100(0.5) + 100(0.3) \quad (\text{mill 100 mm asphalt + mill 100 mm roadbase}) \\ = 80 \text{ mm}$$

$$T_e \text{ nett} = T_e \text{ gain} - T_e \text{ loss} \\ = 190 - 80 \\ = 110 \text{ mm} > T_o \quad \text{OK!}$$

Bagaimanakah cara menentukan rekabentuk struktur pavemen berdasarkan Arahan Teknik (Jalan) 5/85 Pindaan 2013?

Rekabentuk struktur pavemen lentur boleh dirujuk pada katalog dalam Arahan Teknik (Jalan) 5/85 Pindaan 2013 Manual for the Structural Design of Flexible Pavement. Sebagai contoh, sekiranya kategori trafik dalam julat 2.0 - 10.0 million ESALs, maka Figure 3.3 dalam Arahan Teknik tersebut boleh digunakan. Sekiranya nilai CBR subgrade ialah antara 5 - 12 % dan jenis pavemen lentur yang dipilih ialah Conventional Flexible: Granular Base, maka rekabentuk struktur pavemen ialah 200 mm granular sub-base, 200 mm crushed aggregate roadbase, 130 mm binder course dan 50 mm wearing course.

Arahan Teknik (Jalan) 5/85 (Pindaan 2013) Manual for the Structural Design of Flexible Pavement
FIGURE 3.3: Pavement Structures for Traffic Category T 3: 2.0 to 10.0 million ESALs (80 kN)

Pavement Type	Sub-Grade Category			
	SG 1: CBR 5 to 12	SG 2: CBR 12.1 to 20	SG 3: CBR 20.1 to 30	SG 4: CBR > 30
Conventional Flexible: Granular Base	 BSC: 50 BC: 130 CAB: 200 GSB: 200	 BSC: 50 BC: 130 CAB: 200 GSB: 200	 BSC: 50 BC: 130 CAB: 200 GSB: 150	 BSC: 50 BC: 130 CAB: 200 GSB: 100
Deep Strength: Stabilised Base	 BSC: 50 BC: 100 STB 1: 150 GSB: 200	 BSC: 50 BC: 100 STB 1: 150 GSB: 150	 BSC: 50 BC: 100 STB 1: 100 GSB: 100	 BSC: 50 BC/BB: 130 GSB: 100
Full Depth: Asphalt Concrete Base	 BSC: 50 BC/BB: 160 GSB: 200	 BSC: 50 BC/BB: 150 GSB: 150	 BSC: 50 BC/BB: 130 GSB: 100	 BSC: 50 BC/BB: 130 GSB: 100