

# Rekabentuk Campuran (Mix Design)

## Objektif

Untuk menentukan campuran bitumen dan agregat yang dapat menghasilkan bahan penurapan jalan yang berdaya tahan.



## Ciri-ciri

Campuran yang direkabentuk seharusnya mempunyai ciri-ciri berikut;

1. Bitumen mencukupi dan penggunaan jenis agregat yang baik untuk memastikan daya tahan iaitu keupayaan *asphalt* untuk mengatasi perubahan disebabkan oksidasi bitumen dan integrasi agregat.
2. Kekuatan (Stability) *asphalt* mencukupi bagi menampung beban trafik dan juga ketahanan atasi kelesuan (fatigue) disebabkan beban trafik (wheel loads) yang berulang atau berterusan.
3. Ruang atau lompong udara (*air voids*) mencukupi untuk menampung sedikit penambahan pemadatan oleh beban trafik dan sedikit pengembangan bitumen disebabkan oleh peningkatan suhu tanpa menyebabkan *bleeding* atau kehilangan *stability*.
4. Lompong udara tidak melebihi tahap yang dibenarkan untuk mengekang kemasukan udara dan air ke dalam *asphalt* (impermeability).
5. Tahap kebolehtkerjaan (workability) yang mencukupi untuk membolehkan *asphalt* dihamparkan dan dipadatkan dengan efisien tanpa berlaku pengasingan (segregation) dan kehilangan *stability*.
6. Kombinasi agregat yang betul untuk menghasilkan tekstur permukaan yang baik dan rintangan gelinciran yang memuaskan (lapisan haus sahaja).
7. Bersifat fleksibel iaitu keupayaan untuk berubah mengikut pemendapan dan pergerakan subgred tanpa mengalami keretakan.

## Faktor-faktor yang menyumbang kepada kelemahan kualiti

Turapan jalan yang tidak berkualiti adalah disebabkan oleh satu atau kombinasi faktor-faktor berikut:

1. Kelemahan atau ketidaksesuaian rekabentuk campuran.
2. Penghasilan *asphalt* berbeza dari yang direkabentuk di makmal.
3. Ketidaktepatan atau kerosakan pada loji (*plant*).
4. Kerja-kerja penurapan yang tidak sempurna.

**Nota:** JKR/SPJ merujuk kepada *Standard Specification For Road Works JKR/SPJ/2008-S4 Flexible Pavement*.

# Rekabentuk Campuran (Mix Design)

## Keperluan dalam *mix design* - Klausula 4.3.3.3 JKR/SPJ

### A. *Job mix formula* (JMF) - Klausula 4.3.3.3 (a) JKR/SPJ

JMF adalah hasil akhir bagi rekabentuk campuran yang berjaya memenuhi rekabentuk gredan agregat dan kandungan bitumen dengan nilai toleransi yang ditetapkan dan juga memenuhi semua kehendak parameter ujian dan analisa.

Proses rekabentuk campuran di dalam makmal ini perlu dijalankan beberapa kali untuk mencapai tahap kualiti optimum berdasarkan kepada panduan berikut:

- A.1 Gredan bagi campuran agregat + *filler* – **Jadual 4.3.3 JKR/SPJ**
- A.2 Kandungan bitumen – **Jadual 4.3.4 JKR/SPJ**
- A.3 Kaedah rekabentuk Marshall
- A.4 Parameter ujian bagi sampel Marshall – **Jadual 4.3.5 JKR/SPJ**

### B. Hamparan percubaan (Plant trials) - Klausula 4.3.3.3 (b) JKR/SPJ

### C. Pematuhan *job mix formula* - Klausula 4.3.3.3 (c) JKR/SPJ

#### A.1 Gredan campuran agregat + *filler* – **Jadual 4.3.3 JKR/SPJ**

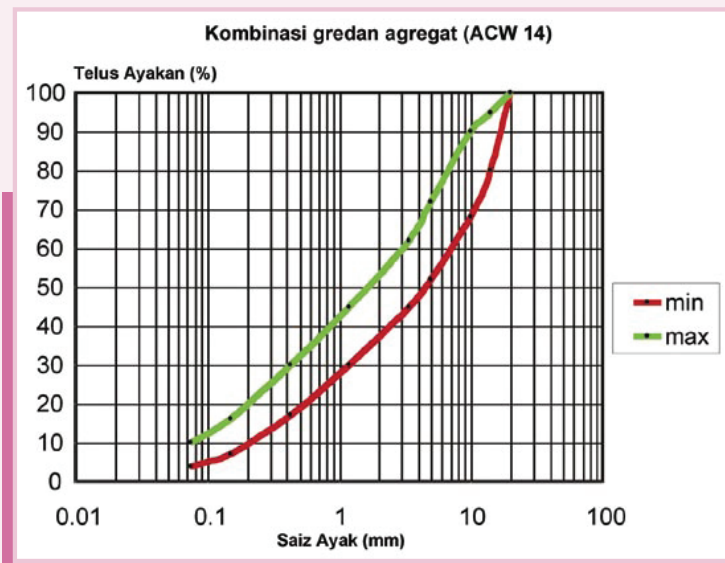
Agregat untuk *asphalt* seharusnya mengandungi campuran agregat kasar dan halus serta *mineral filler/anti-stripping agent*.

Gredan bagi campuran agregat kasar dan halus, bersama-sama dengan *mineral filler/anti-stripping agent* seharusnya mematuhi had gredan seperti yang telah ditetapkan dalam **Jadual 4.3.3 JKR/SPJ** seperti di bawah.

**Jadual 4.3.3: Had gredan bagi asphalt.**

| Mix Type           | Wearing Course | Wearing Course | Binder Course |
|--------------------|----------------|----------------|---------------|
| Mix Designation    | AC 10          | AC 14          | ACB 28        |
| BS Sieve Size (mm) |                |                |               |
| 28.0               |                |                | 100           |
| 20.0               |                | 100            | 72 - 90       |
| 14.0               | 100            | 90 - 100       | 58 - 76       |
| 10.0               | 90 - 100       | 76 - 86        | 48 - 64       |
| 5.0                | 58 - 72        | 50 - 62        | 30 - 46       |
| 3.35               | 48 - 64        | 40 - 54        | 24 - 40       |
| 1.18               | 22 - 40        | 18 - 34        | 14 - 28       |
| 0.425              | 12 - 26        | 12 - 24        | 8 - 20        |
| 0.150              | 6 - 14         | 6 - 14         | 4 - 10        |
| 0.075              | 4 - 8          | 4 - 8          | 3 - 7         |

# Rekabentuk Campuran (Mix Design)



Gambarajah 1: Kombinasi gredan agregat (ACW 14).

**Nota:** ACW 14 adalah merujuk kepada *wearing course* dalam JKR/SPJ/1988.

## Kombinasi *hot bins*

Bagi setiap jenis *asphalt* yang digunakan dalam kerja pembinaan, kontraktor seharusnya menghasilkan gredan *job mix formula* yang terdiri dari satu nilai peratusan telus ayak bagi setiap saiz ayakan seperti yang ditetapkan dalam **Jadual 4.3.3 JKR/SPJ** dan seharusnya menghasilkan satu garisan lengkungan yang licin di dalam kurungan gredan.

Walau bagaimanapun, adalah disarankan gredan disemak terlebih dahulu dengan *stockpile* atau kombinasi *hot bins* untuk menentukan sama ada gredan sasaran boleh dihasilkan oleh kuari.



Komponen *hot bins*.



*Stockpile* agregat.

Rujuk **Jadual 1** untuk contoh kombinasi *hot bins* bagi *asphalt*. Peratusan *hot bins* ini dilakukan secara '*trial and error*' sehingga memenuhi kehendak **Jadual 4.3.3**.

# Rekabentuk Campuran (Mix Design)

*Jadual 1: Contoh kombinasi hot bins bagi asphalt.*

| SUMBER    | B.S. SIEVE (BERAT TERTAHAN) |     |     |      |      |      |       |      |       |     |       |
|-----------|-----------------------------|-----|-----|------|------|------|-------|------|-------|-----|-------|
|           | 20                          | 14  | 10  | 5    | 2.36 | 1.18 | 0.425 | 0.15 | 0.075 | Pan | Total |
| AGG.BIN A | 54                          | 623 | 966 | 37   | 0    | 0    | 0     | 0    | 4     | 0   | 1684  |
| AGG.BIN B | 0                           | 18  | 280 | 3134 | 132  | 0    | 0     | 0    | 4     | 0   | 3568  |
| AGG.BIN C | 0                           | 0   | 0   | 944  | 1523 | 32   | 0     | 20   | 12    | 2   | 2533  |
| AGG.BIN D | 0                           | 0   | 0   | 0    | 623  | 425  | 623   | 563  | 107   | 266 | 2607  |
| FILLER    | 0                           | 0   | 0   | 0    | 0    | 0    | 0     | 48   | 80    | 152 | 280   |

| SUMBER    | B.S. SIEVE (% TERTAHAN) |        |        |        |        |        |        |        |        |        |       |
|-----------|-------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
|           | 20                      | 14     | 10     | 5      | 2.36   | 1.18   | 0.425  | 0.15   | 0.075  | Pan    | Total |
| AGG.BIN A | 3.207                   | 36.995 | 57.363 | 2.197  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.238  | 0.000  | 100   |
| AGG.BIN B | 0.000                   | 0.504  | 7.848  | 87.836 | 3.700  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.112  | 0.000  | 100   |
| AGG.BIN C | 0.000                   | 0.000  | 0.000  | 37.268 | 60.126 | 1.263  | 0.000  | 0.790  | 0.474  | 0.079  | 100   |
| AGG.BIN D | 0.000                   | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 23.897 | 16.302 | 23.897 | 21.596 | 4.104  | 10.203 | 100   |
| FILLER    | 0.000                   | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 17.143 | 28.571 | 54.286 | 100   |

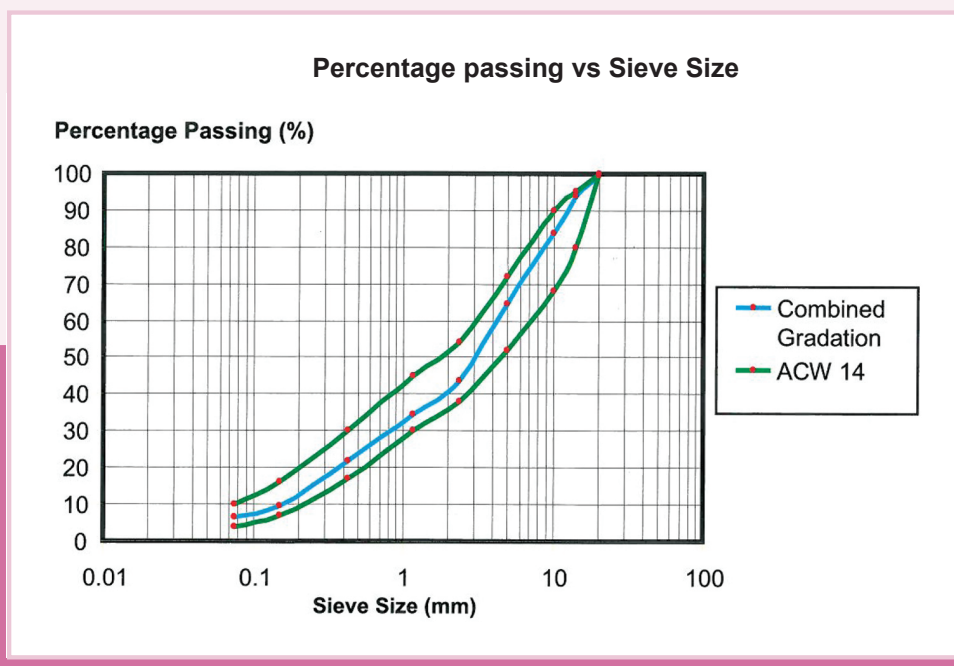
| SUMBER    | B.S. SIEVE (% TELUS) |         |         |         |         |         |         |        |        |
|-----------|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|
|           | 20                   | 14      | 10      | 5       | 2.36    | 1.18    | 0.425   | 0.15   | 0.075  |
| AGG.BIN A | 96.793               | 59.798  | 2.435   | 0.238   | 0.238   | 0.238   | 0.238   | 0.238  | 0.000  |
| AGG.BIN B | 100.000              | 99.496  | 91.648  | 3.812   | 0.112   | 0.112   | 0.112   | 0.112  | 0.000  |
| AGG.BIN C | 100.000              | 100.000 | 100.000 | 62.732  | 2.606   | 1.342   | 1.342   | 0.553  | 0.079  |
| AGG.BIN D | 100.000              | 100.000 | 100.000 | 100.000 | 76.103  | 59.801  | 35.903  | 14.308 | 10.203 |
| FILLER    | 100.000              | 100.000 | 100.000 | 100.000 | 100.000 | 100.000 | 100.000 | 82.857 | 54.286 |

| SUMBER                      | % guna | B.S. SIEVE (% TELUS) |       |       |       |       |       |       |      |       |
|-----------------------------|--------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
|                             |        | 20                   | 14    | 10    | 5     | 2.36  | 1.18  | 0.425 | 0.15 | 0.075 |
| AGG.BIN A                   | 15     | 14.52                | 8.97  | 0.37  | 0.04  | 0.04  | 0.04  | 0.04  | 0.04 | 0.00  |
| AGG.BIN B                   | 16     | 16.00                | 15.92 | 14.66 | 0.61  | 0.02  | 0.02  | 0.02  | 0.02 | 0.00  |
| AGG.BIN C                   | 13     | 13.00                | 13.00 | 13.00 | 8.16  | 0.34  | 0.17  | 0.17  | 0.17 | 0.01  |
| AGG.BIN D                   | 54     | 54.00                | 54.00 | 54.00 | 54.00 | 41.10 | 32.29 | 19.39 | 7.73 | 5.51  |
| FILLER                      | 2      | 2.00                 | 2.00  | 2.00  | 2.00  | 2.00  | 2.00  | 2.00  | 1.66 | 1.09  |
| Jumlah                      | 100    |                      |       |       |       |       |       |       |      |       |
| Max ACW 14                  |        | 100                  | 95    | 90    | 72    | 54    | 45    | 30    | 16   | 10    |
| Hot Bin Combination Grading |        | 99.52                | 93.89 | 84.03 | 64.80 | 43.49 | 34.52 | 21.62 | 9.51 | 6.61  |
| Min ACW 14                  |        | 100                  | 80    | 68    | 52    | 38    | 30    | 17    | 7    | 4     |



# Rekabentuk Campuran (Mix Design)

Contoh garisan lengkung gredan bagi ACW 14.



**Gambarajah 2: Cadangan gredan vs kurungan ACW 14.**

**Nota:** ACW 14 adalah merujuk kepada *wearing course* dalam JKR/SPJ/1988.

## A.2 Kandungan bitumen - Jadual 4.3.4 JKR/SPJ

Sebagai panduan ke atas julat kandungan bitumen, rujuk pada **Jadual 4.3.4 JKR/SPJ**.

**Jadual 4.3.4: Rekabentuk kandungan bitumen.**

|                        |             |
|------------------------|-------------|
| AC 10 - Wearing Course | 5.0 - 7.0 % |
| AC 14 – Wearing Course | 4.0 – 6.0 % |
| AC 28 – Binder Course  | 3.5 – 5.5 % |

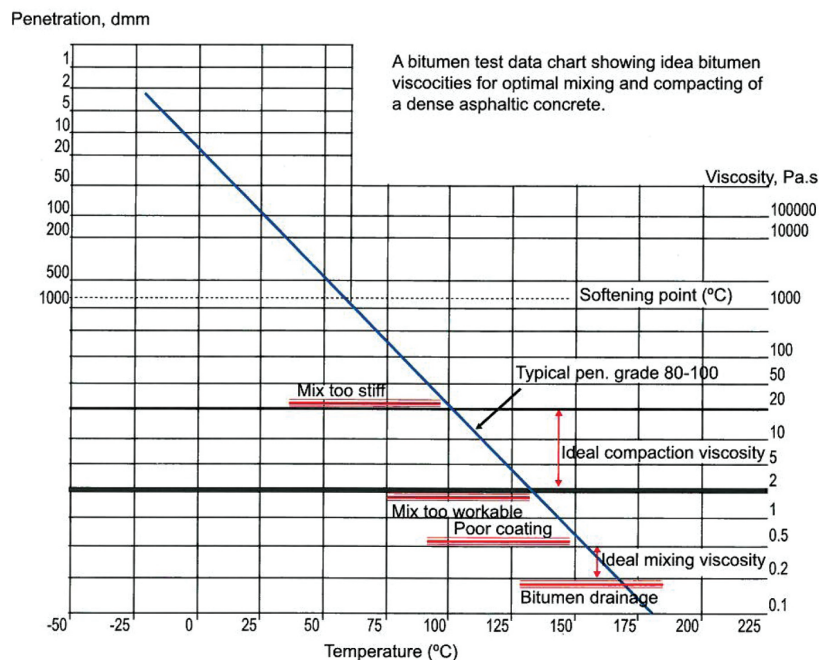
## A.3 Kaedah Marshall bagi *mix design* – Klausula 4.3.3 JKR/SPJ

- A.3.1** Sediakan spesimen untuk ujian *stability* dan *flow* seperti dalam ASTM D 1559 menggunakan 75 hentakan/muka.
- A.3.2** Tentukan *bulk specific gravity* untuk spesimen seperti dalam ASTM D 2726.
- A.3.3** Tentukan nilai *stability* dan *flow* seperti dalam ASTM D 1559.
- A.3.4** Jalankan analisis ke atas lompong udara (voids); VMA, VFB, VIM.

# Rekabentuk Campuran (Mix Design)

## A.3.1 Panduan Penyediaan sampel

- Bilangan spesimen** - Sediakan 4 spesimen untuk setiap kombinasi agregat dan kandungan bitumen, tingkatan sebanyak 0.5% kandungan bitumen bagi setiap kombinasi; sebagai contoh 4.0%, 4.5%, 5.0%, 5.5% dan 6.0% bagi AC 14.
- Penyediaan agregat** - Keringkan agregat sehingga mencapai berat malar pada suhu 221 - 230 °F (105 - 110 °C) dan asingkan agregat tersebut kepada saiz yang dikehendaki dengan ayakan.
- Penentuan suhu bancuhan dan pemadatan** - Suhu pemadatan ialah suhu di mana bitumen dipanaskan untuk menghasilkan nilai kelikatan 2 - 20 Pa.s. Manakala suhu bancuhan ialah suhu di mana bitumen mesti dipanaskan untuk menghasilkan kelikatan 0.2 - 0.5 Pa.s seperti tertera pada **Gambarajah 3**.



**Gambarajah 3: Bitumen test data chart (BTDC).**

# Rekabentuk Campuran (Mix Design)

- d. **Berat agregat** - Timbang setiap saiz agregat yang diperlukan untuk dijadikan satu kelompok yang dapat menghasilkan pemadatan spesimen dengan tinggi  $2.5 \pm 0.05$  in. ( $63.5 \pm 1.27$  mm). Kebiasaannya jumlah berat agregat yang diperlukan ialah 1200 g.



*Proses menimbang setiap saiz agregat.*



*Kelompok agregat yang telah siap ditimbang.*

- e. **Bancuhan** - Agregat dipanaskan pada suhu  $\pm 160$  °C di dalam kualiti. Kemudian, bentukkan kawah pada agregat yang kering. Timbang bitumen yang telah dipanaskan, kemudian campurkan dengan agregat.



*Memanaskan agregat.*



*Mencampurkan bitumen ke dalam agregat.*

- f. **Suhu bancuhan** - Suhu bagi campuran agregat dan bitumen mestilah berada dalam lingkungan had suhu bancuhan. Pastikan suhu bancuhan tidak terlalu tinggi kerana bitumen akan terbakar dan tidak melekat pada agregat (sifat-sifat bitumen sebagai bahan pengikat sudah tiada).
- g. **Kaedah bancuhan** - Gaulkan agregat dan bitumen dengan cepat sehingga kesemuanya sebati. Disaran menggunakan pembancuh mekanikal, namun kualiti dan bancuhan dengan tangan juga boleh digunakan.

Pastikan semua agregat telah disaluti bitumen.



*Menggaul bitumen dengan agregat.*



*Mengawal suhu bancuhan < 163 °C.*

## Rekabentuk Campuran (Mix Design)

- h. **Acuan** - Letakkan bancuhan tersebut ke dalam acuan bergaris pusat 4 in. (101.6 mm). Saiz maksimum agregat yang boleh diletakkan ke dalam acuan bergaris pusat 4 in. adalah 25 mm.

Pastikan tiada campuran yang tertumpah atau melekat pada kualiti.



*Acuan dilengkapi alat tadahan bancuhan.*



*Menuang bancuhan ke dalam acuan.*

- i. **Rodok bancuhan** dalam acuan tadi dengan menggunakan spatula yang telah dipanaskan sebanyak 15 kali disekeliling perimeter acuan tersebut dan 10 kali di bahagian tengah acuan.

Kebiasaannya, bancuhan dibiarkan seketika sehingga suhu turun kepada suhu pemadatan.



*Merodok bancuhan.*

- j. **Suhu pemadatan** - Suhu bancuhan mestilah tidak kurang dari suhu pemadatan sebaik sebelum dipadat. Jika tidak, bancuhan itu patut dibuang kerana ianya tidak boleh digunakan lagi. Bancuhan sama sekali tidak boleh dipanaskan semula.



*Mengawal suhu bancuhan supaya sesuai untuk dipadatkan.*



*Suhu pemadatan  $\pm 135^{\circ}\text{C}$ .*



# Rekabentuk Campuran (Mix Design)

**k. Mengetuk specimen (bancuan dalam acuan)**

- *Compaction hammer* perlu ada permukaan yang rata dan bulat, berat 10 lb (4536 g) dengan jarak jatuhan 18 in. (457.2 mm). Hentakan dikenakan 75 kali. Terbalikkan specimen dan kenakan bilangan hentakan yang sama.



*Mengetuk specimen.*

**l. Penyejukan specimen**

- Biarkan specimen sejuk sendiri sehingga tiada kecacatan terbentuk apabila ditanggalkan daripada acuan. Proses penyejukan specimen boleh dipercepatkan dengan menggunakan kipas angin, tetapi tidak dibenarkan merendam specimen di dalam air, kecuali diletakkan di dalam beg plastik.



*Menyejukan specimen.*

**m. Menanggalkan specimen**

- Specimen ditanggalkan dari acuan menggunakan *extrusion jack*. Kemudian specimen diletakkan di atas permukaan yang rata hingga sedia untuk dijalankan ujian. Kebiasaannya, specimen dibiarkan sejuk semalaman.



*Menanggalkan specimen daripada acuan.*

**n. Ukur ketebalan** - Ukur ketebalan specimen dengan menggunakan alat pengukur seperti *vernier calliper* ataupun pembaris. (Purata empat bacaan diambil untuk setiap specimen).

Nilai ketebalan diperlukan untuk mengira nilai *corrected stability* dan *stiffness*.



*Mengukur ketebalan menggunakan vernier calliper.*

# Rekabentuk Campuran (Mix Design)

## A.3.2 Penentuan *Bulk Specific Gravity*

- a. **Berat spesimen kering di udara**  
- Timbang spesimen dalam keadaan kering dan sejuk (**berat A**).



*Menimbang berat spesimen di udara.*

- b. **Berat spesimen dalam air** - Rendamkan spesimen dalam bekas mengandungi air pada suhu 25 °C (77 °F) selama 3 hingga 5 minit, kemudian timbang spesimen dalam keadaan terendam dalam air (**berat C**).



*Menimbang berat spesimen di dalam air.*

- c. **Berat spesimen di udara dalam keadaan *saturated surface dry*** - Sebaik sahaja dikeluarkan dari dalam air, keringkan permukaan spesimen dengan menangkap permukaan tersebut menggunakan tuala lembap, kemudian timbang di udara (**berat B**).

$$\text{Bulk specific gravity} = \frac{A}{B - C}$$



*Permukaan spesimen tepu yang basah.*



*Mengeringkan permukaan spesimen tepu dengan tuala lembap.*

Pastikan guna tuala lembap supaya air di dalam spesimen tidak diserap oleh tuala yang kering.



# Rekabentuk Campuran (Mix Design)

## A.3.3 Ujian *stability* dan *flow* seperti dalam AASHTO T 245 atau ASTM D 1559;

- a. Rendam spesimen di dalam bekas air pada suhu  $60 \pm 1^\circ\text{C}$  selama 30 hingga 40 minit atau letakkan di dalam oven selama 2 jam. Bekas air (water bath) mestilah sekurang-kurangnya 6 in. (152.4 mm) dalam dan mempunyai kawalan termostat. Bekas air tersebut mestilah mempunyai lantai yang bertebuk untuk membolehkan spesimen tergantung di kedalaman 2 in. (50.8 mm) dari bahagian bawah bekas air tersebut.
- b. Bersihkan *guide rod* dan permukaan sebelah dalam *test heads*.
- c. Suhu *testing head* mestilah di antara  $70 - 100^\circ\text{F}$  ( $21.1 - 37.8^\circ\text{C}$ ).
- d. Keluarkan spesimen dari bekas air dan letakkan di bahagian segmen bawah *breaking head*.
- e. Letakkan segmen atas *breaking head* di atas spesimen.
- f. Kenakan beban pada spesimen dengan pergerakan sekata *load jack* atau *testing machine head* pada kadar 2 in/min (51 mm/min) sehingga mencapai beban maksimum. Rekodkan nilai beban maksimum tersebut.
- g. Rekodkan nilai aliran (flow). Ini menunjukkan perubahan bentuk spesimen dari tiada beban kepada beban maksimum (Marshall Flow, dalam mm).
- h. Keseluruhan prosedur, bermula dari spesimen dikeluarkan dari bekas air sehingga beban maksimum diperolehi mestilah dilengkapi dalam tempoh masa tidak lebih dari 30 saat.



**Nota:** Penggunaan alat jenis digital boleh memudahkan ujian *stability* dan *flow* dan mengurangkan kesalahan mengambil bacaan.



Contoh alat jenis digital.



Contoh keputusan *stability* (kN) dan *flow* (mm) menggunakan alat digital.



*Aktiviti dan ujian di makmal.*

# Rekabentuk Campuran (Mix Design)

## A.3.4 Analisis lompong udara (voids) - VMA,VFB,VIM

Kandungan *voids* merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi kekuatan dan ketahanan sesuatu turapan jalan. Oleh itu, kandungan *voids* dalam campuran ini perlu dikawal.

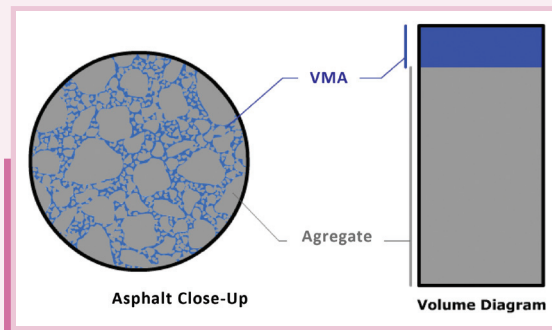
*Voids* dianalisa dalam bentuk isipadu (volume) dan dikira berdasarkan nilai *bulk specific gravity* yang diperolehi daripada item A.3.2, dengan mengadaptasi formula;

$$\text{Density, } \rho = \frac{\text{Mass}}{\text{Volume}}$$

### 1. *Voids* dalam agregat (*Voids in mineral aggregate, VMA*)

Ia merupakan sebahagian ruang dalam *asphalt* yang dipadatkan yang tidak diisi oleh agregat.

*Voids* di dalam agregat merangkumi ruang udara dan isipadu bitumen yang tidak diserap ke dalam agregat.

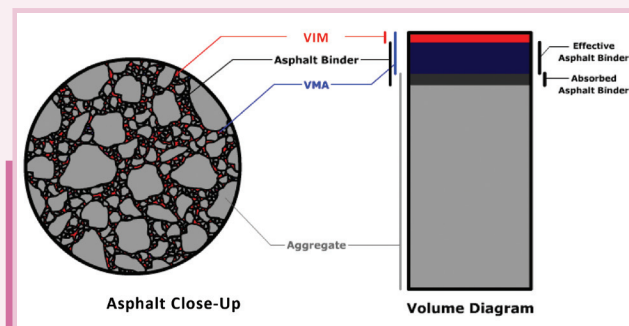


### 2. *Voids* dalam agregat yang diisi oleh bitumen (*Air voids in the compacted aggregate filled with bitumen, VFB*)

Ruang udara yang wujud antara partikel agregat dalam *asphalt* yang dipadatkan yang diisi oleh bitumen.

### 3. *Voids* dalam campuran agregat - bitumen (*Air voids in the compacted mix, VIM*)

Ruang udara di antara partikel agregat yang disaluti bitumen di dalam *asphalt* yang telah dipadatkan.





# Rekabentuk Campuran (Mix Design)

## A.4 Parameter ujian bagi spesimen Marshall - Jadual 4.3.5 JKR/SPJ

Bagi setiap campuran percubaan (trial mix) yang mengikut *job mix formula* yang dicadangkan, kesemua parameter ujian dan analisis mestilah memenuhi keperluan seperti dalam **Jadual 4.3.5 JKR/SPJ** seperti di bawah.

**Jadual 4.3.5 Parameter ujian dan analisis.**

| Parameter                                    | Wearing Course | Binder Course |
|----------------------------------------------|----------------|---------------|
| Stability, S                                 | > 8000 N       | > 8000 N      |
| Flow, F                                      | 2.0 – 4.0 mm   | 2.0 – 4.0 mm  |
| Stiffness, S/F                               | > 2000 N/mm    | > 2000 N/mm   |
| Air voids in mix (VIM)                       | 3.0% - 5.0%    | 3.0% - 7.0%   |
| Voids in aggregate filled with bitumen (VFB) | 70% - 80%      | 65% - 75%     |

### Penentuan kandungan bitumen optimum

Nilai purata (sekurang-kurangnya tiga spesimen) bagi ketumpatan graviti tentu (bulk specific gravity), kestabilan (stability), aliran (flow), VFB dan VIM yang diperolehi seperti dalam **Jadual 2** haruslah dibuat graf secara berasingan melawan peratus kandungan bitumen dan garis lengkungan dilukis melalui nilai-nilai di atas graf tersebut (Rujuk **Gambarajah 4**).

Daripada graf-graf yang diplot, kandungan bitumen optimum hendaklah ditentukan dengan mengambil purata lima (5) nilai kandungan bitumen optimum yang diperolehi berpandukan nilai-nilai di bawah:-

1. Graf *Bulk SG vs Bitumen content* - Nilai puncak lengkungan graf
2. Graf *Stability vs Bitumen content* - Nilai puncak lengkungan graf
3. Graf *Flow vs Bitumen content* - Aliran (*flow*) = 3 mm
4. Graf *VFB vs Bitumen content* - Nilai 75% untuk *wearing course*  
- Nilai 70% untuk *binder course*
5. Graf *VIM vs Bitumen content* - Nilai 4% untuk *wearing course*  
- Nilai 5% untuk *binder course*

- Nota 1 Jika berlaku di mana puncak kestabilan (stability) menunjukkan lebih dari satu puncak, kandungan bitumen haruslah dipilih dari nilai yang dapat memenuhi keperluan lompang udara (voids) dengan lebih baik. Terdapat kemungkinan di mana tiada puncak kestabilan diperolehi, oleh itu penyediaan dan ujian terhadap spesimen tambahan harus dilakukan setiap selang 0.25% kandungan bitumen pada kedua-dua sisi kandungan bitumen optimum yang dijangkakan.

- Nota 2 Sekiranya agregat mempunyai ciri penyerapan yang tinggi, akan terdapat kesukaran untuk memperolehi puncak ketumpatan graviti tentu. Bagi kes seperti ini, kandungan bitumen yang menunjukkan penurunan mendadak ketumpatan graviti tentu hendaklah digunakan.

# Rekabentuk Campuran (Mix Design)

Jadual 2: Contoh pengiraan dalam laporan rekabentuk campuran Marshall.

| Sample ID | Bitumen Content      | Average Thickness mm | Weight   |            |        | Bulk   | Specific Gravity (SG) |       |                 | Volume, % total   |             |         | Voids, %  |                 |      |           | Stability, kN     |           |     | Flow mm | Stiffness kN/mm |
|-----------|----------------------|----------------------|----------|------------|--------|--------|-----------------------|-------|-----------------|-------------------|-------------|---------|-----------|-----------------|------|-----------|-------------------|-----------|-----|---------|-----------------|
|           |                      |                      | In Air g | In Water g | SSD g  |        | Vol cm <sup>3</sup>   | Bulk  | Max Theoretical | Bit.              | Agg.        | Voids   | VMA       | VFB             | VM   | Measured  | Correction Factor | Corrected |     |         |                 |
| a         | b                    | c                    | d        | e          | f      | g      | h                     | i     | j               | k                 | l           | m       | n         | o               | p    | q         | r                 | s         | t   |         |                 |
|           | by weight of mix (%) |                      |          |            |        | f - e  | d/g                   |       | b x h<br>Gac    | (100 - b)h<br>Gag | 100 - j - k | 100 - k | j/m x 100 | [1 - (v/n)]*100 |      | 63.5<br>c | p x q             |           | r/s |         |                 |
| A1        | 4.0                  | 62.9                 | 1149.5   | 648.9      | 1152.2 | 503.30 | 2.284                 |       |                 |                   |             |         |           |                 | 10.3 | 1.01      | 10.4              | 2.3       |     |         |                 |
| A2        |                      | 63.9                 | 1151.4   | 645.6      | 1154.7 | 509.10 | 2.262                 |       |                 |                   |             |         |           |                 | 10.8 | 0.99      | 10.7              | 2.5       |     |         |                 |
| A3        |                      | 62.9                 | 1152.0   | 649.2      | 1157.4 | 508.20 | 2.267                 |       |                 |                   |             |         |           |                 | 10.1 | 1.01      | 10.2              | 2.7       |     |         |                 |
|           | 4.5                  |                      |          |            |        |        |                       | 2.271 | 8.905           | 83.00             | 8.09        | 17.00   | 52.39     | 8.093           |      |           | 10.4              | 2.51      | 4.2 |         |                 |
| A4        |                      | 64.2                 | 1154.2   | 642.2      | 1158.0 | 515.80 | 2.238                 |       |                 |                   |             |         |           |                 | 10.5 | 0.99      | 10.4              | 3.4       |     |         |                 |
| A5        |                      | 60.6                 | 1155.2   | 662.6      | 1158.2 | 489.30 | 2.361                 |       |                 |                   |             |         |           |                 | 11.2 | 1.05      | 11.7              | 2.7       |     |         |                 |
| A6        |                      | 62.8                 | 1161.8   | 653.2      | 1162.0 | 502.90 | 2.310                 |       |                 |                   |             |         |           |                 | 11.5 | 1.01      | 11.6              | 3.0       |     |         |                 |
|           | 5.0                  |                      |          |            |        |        |                       | 2.284 | 10.076          | 83.05             | 6.87        | 16.95   | 59.45     | 6.874           |      |           | 11.2              | 3.05      | 3.7 |         |                 |
| A7        |                      | 62.7                 | 1161.8   | 658.5      | 1162.5 | 504.00 | 2.305                 |       |                 |                   |             |         |           |                 | 12.1 | 1.01      | 12.3              | 3.3       |     |         |                 |
| A8        |                      | 62.3                 | 1161.5   | 660.8      | 1162.0 | 501.20 | 2.317                 |       |                 |                   |             |         |           |                 | 11.9 | 1.02      | 12.1              | 2.7       |     |         |                 |
| A9        |                      | 61.9                 | 1160.2   | 663.3      | 1160.8 | 497.50 | 2.332                 |       |                 |                   |             |         |           |                 | 11.5 | 1.03      | 11.8              | 4.3       |     |         |                 |
|           | 5.5                  |                      |          |            |        |        |                       | 2.318 | 11.364          | 83.85             | 4.78        | 16.15   | 70.38     | 4.783           |      |           | 12.1              | 3.43      | 3.5 |         |                 |
| A10       |                      | 62.4                 | 1171.6   | 671.2      | 1171.8 | 500.60 | 2.340                 |       |                 |                   |             |         |           |                 | 11.2 | 1.02      | 11.4              | 3.1       |     |         |                 |
| A11       |                      | 62.1                 | 1168.5   | 669.7      | 1168.7 | 499.00 | 2.342                 |       |                 |                   |             |         |           |                 | 11.1 | 1.02      | 11.4              | 4.0       |     |         |                 |
| A12       |                      | 60.8                 | 1155.5   | 660.9      | 1155.7 | 494.80 | 2.335                 |       |                 |                   |             |         |           |                 | 9.6  | 1.04      | 10.0              | 3.3       |     |         |                 |
|           | 6.0                  |                      |          |            |        |        |                       | 2.339 | 12.613          | 84.16             | 3.22        | 15.84   | 79.64     | 3.224           |      |           | 10.9              | 3.46      | 3.2 |         |                 |
| A13       |                      | 62.4                 | 1168.2   | 669.3      | 1168.3 | 499.00 | 2.341                 |       |                 |                   |             |         |           |                 | 9.8  | 1.02      | 10.0              | 3.9       |     |         |                 |
| A14       |                      | 61.4                 | 1157.0   | 661.6      | 1158.5 | 495.30 | 2.336                 |       |                 |                   |             |         |           |                 | 9.8  | 1.03      | 10.1              | 3.6       |     |         |                 |
| A15       |                      | 61.1                 | 1159.7   | 654.5      | 1159.9 | 505.40 | 2.295                 |       |                 |                   |             |         |           |                 | 9.3  | 1.04      | 9.7               | 4.1       |     |         |                 |
|           |                      |                      |          |            |        |        | 2.321                 | 2.400 | 13.655          | 83.08             | 3.26        | 16.92   | 80.72     | 3.262           |      |           | 9.9               | 3.89      | 2.6 |         |                 |

$$G_{ag} \text{ (specific gravity of combined aggregate)} = 2.6264$$

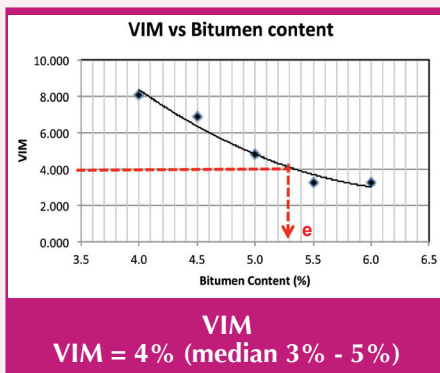
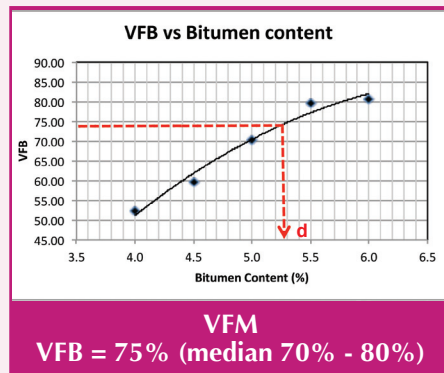
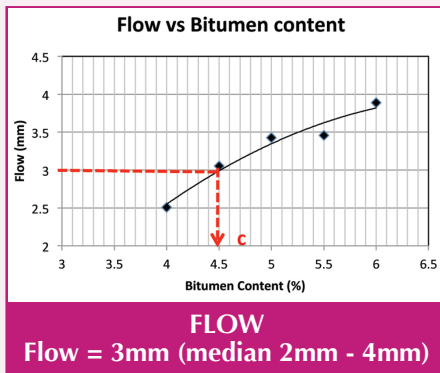
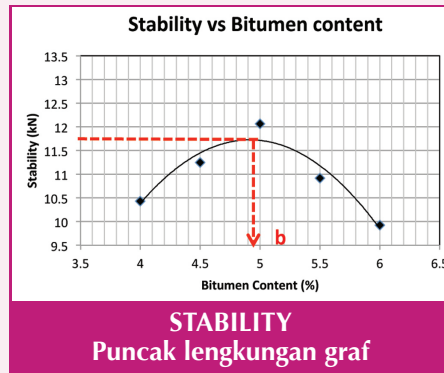
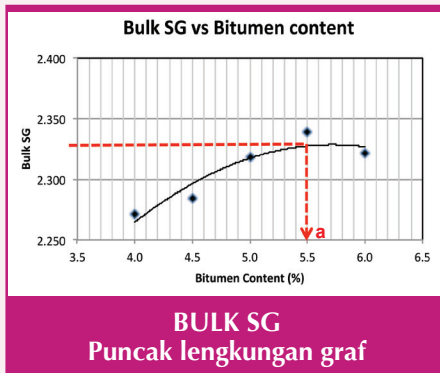
$$G_{ac} \text{ (specific gravity of bitumen)} = 1.02$$

$$\text{Max. Theoretical SG, } i = \frac{100}{\frac{b}{G_{ac}} + \frac{100 - b}{G_{ag}}}$$



# Rekabentuk Campuran (Mix Design)

| Bitumen Content (%) | Bulk SG | Stability (kN) | Flow (mm) | VIM (%) | VFB (%) |
|---------------------|---------|----------------|-----------|---------|---------|
| 4.0                 | 2.271   | 10.4           | 2.51      | 8.093   | 52.39   |
| 4.5                 | 2.284   | 11.2           | 3.05      | 6.870   | 59.45   |
| 5.0                 | 2.318   | 12.1           | 3.43      | 4.783   | 70.38   |
| 5.5                 | 2.339   | 10.9           | 3.46      | 3.224   | 79.64   |
| 6.0                 | 2.321   | 9.9            | 3.89      | 3.260   | 80.72   |



Kandungan Bitumen Optimum

$$= \frac{a+b+c+d+e}{5}$$

Nilai *stability*, *flow*, VIM dan VFB pada kandungan bitumen optimum dari graf yang disediakan hendaklah memenuhi ketetapan **Jadual 4.3.5. JKR/SPJ**.

Jika **kesemua** nilai tersebut memenuhi ketetapan **Jadual 4.3.5**, *asphalt* dengan kandungan bitumen optimum ini boleh digunakan untuk hamparan percubaan (plant trials).

Gambarajah 4

# Rekabentuk Campuran (Mix Design)

## B. Hampan Percubaan (Plant Trials) - Klausa 4.3.3.3 (b) JKR/SPJ

Selepas *job mix formula* (JMF) diperolehi daripada ujian di makmal, *plant trial* harus dilaksanakan bagi merealisasi kesesuaian JMF ini untuk kerja-kerja penurapan jalan.

Secara amnya, *plant trial* bertujuan untuk:-

- memastikan *asphalt* yang dihasilkan mematuhi rekabentuk,
- hampan *compacted thickness* dan *compacted density* mematuhi rekabentuk untuk digunapakai semasa kerja sebenar di tapak.



*Proses penghasilan asphalt di kuari.*



*Proses hampan percubaan di tapak.*

Sekurang-kurangnya 20 tan *asphalt* hendaklah diturap di kawasan percubaan untuk menunjukkan kepada S.O. bahawa peralatan bancuhan (mixing), hampan (laying) dan pemadatan (compaction) memenuhi spesifikasi manakala *asphalt* tersebut memenuhi kehendak JMF dan peratus pemadatan yang ditetapkan.

Aktiviti yang perlu dijalankan semasa *plant trial*:

1. Rekodkan jenis dan berat penggelek (roller) yang digunakan. Periksa tekanan tayar *pneumatic tyre roller*.
2. Rekodkan jenis penurap (paver) yang digunakan.
3. Pilih tempat percubaan (trial area) yang sesuai.
4. Jalankan ujian dan analisa terhadap sampel *asphalt* dan spesimen Marshall bagi menentukan:-
  - kandungan bitumen dan gredan agregat.
  - *specific gravity* (SG) dan *maximum theoretical SG*.
  - analisis *voids* (VMA, VFB dan VIM).
  - kestabilan dan aliran Marshall.
5. Rekodkan suhu *asphalt* di atas lori, di kuari dan di tapak.
6. Rekodkan tebal hampan.
7. Perhatikan tekstur permukaan turapan.
8. Rekodkan suhu pemadatan.
9. Rekodkan corak pemadatan (rolling pattern).
10. Perhatikan tekstur dan keadaan permukaan pemadatan.
11. Ambil sampel *core*.
12. Ukur ketebalan terpadat dan ketumpatan ke atas sampel *core*.

## Rekabentuk Campuran (Mix Design)

Selepas *plant trial* dijalankan, sekiranya terdapat sebarang ketidakpatuhan S.O. mungkin perlu membuat pindaan ke atas *job mix formula*, dan menjalankan semula *plant trial* sebelum campuran *asphalt* itu diluluskan.

Kawasan percubaan bagi *plant trial* sepatutnya tidak termasuk dalam kerja-kerja kontrak tetapi mestilah disediakan oleh kontraktor atas perbelanjaan sendiri.

Gambarajah di bawah menunjukkan sebahagian aktiviti sewaktu *plant trial* di tapak dan di makmal.



# Rekabentuk Campuran (Mix Design)

## C. Pematuhan *Job Mix Formula* (JMF) - Klausa 4.3.3.3 (c) JKR/SPJ

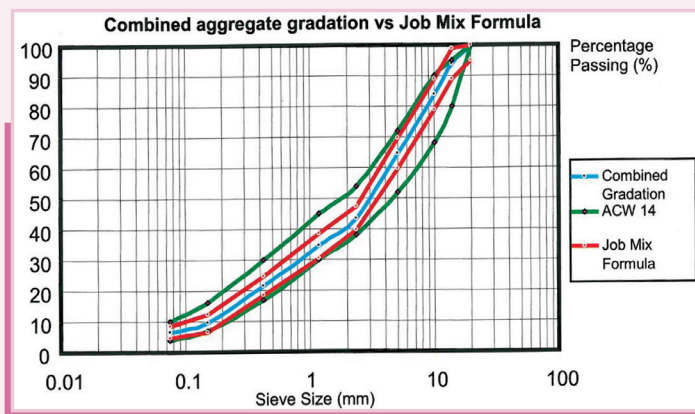
Rekabentuk gredan agregat dan kandungan bitumen dengan nilai toleransi yang ditetapkan dalam **Jadual 4.3.6 JKR/SPJ**

Kelulusan muktamad S.O. ke atas JMF seharusnya dipatuhi sepenuhnya oleh kontraktor dalam menghasilkan *asphalt* dengan gredan agregat dan kandungan bitumen yang tepat dalam lingkungan toleransi seperti ditetapkan dalam **Jadual 4.3.6 JKR/SPJ**.

Perubahan terhadap JMF hanya boleh dilakukan dengan persetujuan S.O. Pada bila-bila masa, apabila S.O. mendapati *asphalt* dan kaedah bancuhan dan pematatan berlainan dari apa yang telah diluluskan sebelumnya, S.O. hendaklah memaklumkan kepada kontraktor dan mengarahkan kerja-kerja penurapan diberhentikan sehingga ujian lanjutan dijalankan.

### Toleransi *asphalt* - **Jadual 4.3.6 JKR/SPJ**

Contoh gredan agregat bagi JMF yang telah diluluskan dengan toleransi seperti ditetapkan dalam **Jadual 4.3.6 JKR/SPJ** adalah seperti di bawah.



**Nota:** ACW 14 adalah merujuk kepada *wearing course* dalam **JKR/SPJ/1988**.

### **Jadual 4.3.6: Toleransi campuran *asphalt*.**

| Parameter                                                                              | Permissible Variation<br>% by Weight of Total Mix |
|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Bitumen content                                                                        | $\pm 0.2$ %                                       |
| Fractions of combined aggregate passing 5.0 mm and larger sieves                       | $\pm 5.0$ %                                       |
| Fractions of combined aggregate passing 3.35 mm and 1.18 mm sieves                     | $\pm 4.0$ %                                       |
| Fractions of combined aggregate passing 425 $\mu\text{m}$ and 150 $\mu\text{m}$ sieves | $\pm 3.0$ %                                       |
| Fractions of combined aggregate passing 75 $\mu\text{m}$ sieve                         | $\pm 2.0$ %                                       |

*Asphalt* dengan gredan agregat dan/atau kandungan bitumen yang tersasar dari toleransi, walaupun masih dalam had yang ditetapkan dalam **Jadual 4.3.3** dan **Jadual 4.3.4** sepatutnya dianggap tidak mematuhi JMF dalam kerja penurapan.



# Rekabentuk Campuran - Soalan Lazim

## Rekabentuk campuran (mix design)

### Apakah tujuan menjalankan rekabentuk campuran bagi *asphalt*?

Rekabentuk campuran adalah bertujuan untuk menentukan gredan agregat dan kandungan bitumen yang diperlukan bagi menghasilkan *asphalt* yang ekonomik, stabil dan berdaya tahan serta mematuhi ciri-ciri *asphalt* seperti ketetapan dalam **Jadual 4.3.5 JKR/SPJ**.

Dalam merekabentuk campuran *asphalt*, kandungan lompong udara dalam campuran perlu dikawal. Kandungan lompong udara yang terlalu sedikit menyebabkan kandungan bitumen yang bertindak sebagai bahan pelincir berkurangan dan menyukarkan proses pemadatan. Selain daripada itu, daya tahan *asphalt* turut berkurangan jika lapisan bitumen yang membaluti agregat menjadi terlalu nipis. Sementara itu, kandungan lompong udara yang tinggi boleh menyebabkan ikatan di antara agregat menjadi lemah dan mengurangkan kestabilan *asphalt*.

### Mengapa rekabentuk campuran diperlukan bagi setiap kuari atau perlu dijalankan bagi setiap projek? Mengapa tidak boleh hanya satu rekabentuk campuran digunakan bagi kesemua kuari dan projek di seluruh negara?

Ini disebabkan oleh kepelbagaian sifat-sifat unik semulajadi agregat. Batuan asal (granit, batu kapur, basalt dll) yang membentuk agregat akan mempengaruhi rupa bentuk dan tekstur permukaan dan sebagainya.



Sebagai contoh, di bawah sebarang nilai daya mampatan, dua set agregat yang mempunyai nilai penggredan yang sama tetapi mempunyai rupa bentuk dan tekstur permukaan yang tidak serupa akan menghasilkan kandungan lompong udara yang berbeza. Oleh yang demikian, untuk setiap set gredan dan jenis agregat, terdapat satu nilai kandungan bitumen optimum bagi mendapatkan rekabentuk campuran yang memuaskan.

Sebarang perubahan nilai kandungan bitumen optimum boleh mengakibatkan kegagalan pra-matang di mana kandungan bitumen yang berlebihan boleh menyebabkan bahan permukaan jalan mudah berubah bentuk apabila beban trafik dikenakan. Manakala, jika kandungan bitumen berkurangan, kadar pengerasan lapisan nipis bitumen yang membaluti agregat akan meningkat.

Sekiranya loji yang membekalkan *asphalt* bagi sesuatu projek tidak mempunyai sumber agregat sendiri dan bergantung kepada sumber luar untuk memperolehi agregat, gredan agregat yang digunakan dalam sesuatu projek akan kerap berubah. Oleh itu, adalah penting untuk sentiasa menyemak semula rekabentuk campuran yang digunakan.

# Rekabentuk Campuran - Soalan Lazim

## Kandungan bitumen

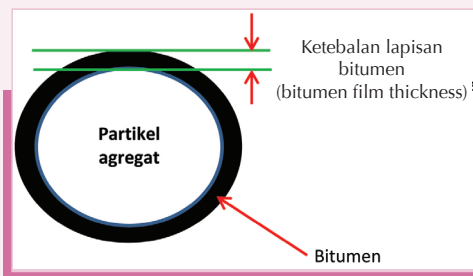
### Apakah kesan kandungan bitumen yang terlalu rendah?

Apabila kandungan bitumen terlalu rendah, ia akan menghasilkan satu lapisan bitumen yang sangat nipis pada partikel agregat yang boleh menyebabkan kekurangan daya jeleketan (cohesive forces) dan peningkatan kandungan lompang udara.

Oleh yang demikian campuran *asphalt* yang dihasilkan akan menjadi telap air dan udara yang boleh mempercepatkan lagi proses oksidasi atau pengerasan lapisan nipis bitumen.

Kajian yang telah dijalankan membuktikan bahawa ketebalan lapisan bitumen pada setiap agregat memainkan peranan penting dalam menentukan kadar pengerasan (hardening) bitumen dalam lapisan turapan jalan.

Selain itu, campuran *asphalt* yang terhasil akan menjadi terlalu keras (stiff) dan mempunyai keboleherjaan yang rendah iaitu kesukaran dan proses hamparan dan pepadatan.



*Lapisan nipis bitumen (bitumen film) membaluti agregat.*



*Permukaan jalan kering mungkin disebabkan kekurangan bitumen yang boleh menyebabkan keretakan pra-matang.*

### Apakah kesan kandungan bitumen yang terlalu tinggi?

Kandungan bitumen yang terlalu tinggi akan menyebabkan lompang udara dipenuhi dengan bitumen yang akan menjarakkan partikel agregat antara satu sama lain. Ini akan mengakibatkan ikatan mekanikal (mechanical interlock) dalam struktur agregat menjadi lemah.

Kandungan bitumen yang berlebihan ini juga akan mengurangkan daya geseran (friction) antara partikel agregat. Oleh yang demikian campuran *asphalt* menjadi kurang stabil dan mudah berubah bentuk apabila beban trafik dikenakan.



*Permukaan jalan yang berubah bentuk.*

# Rekabentuk Campuran - Soalan Lazim

## Lompang udara

### Apakah kepentingan menghadkan kandungan lompang udara dalam *asphalt*?

Sesetengah pihak beranggapan tujuan gredan agregat dalam *asphalt* adalah untuk menghasilkan struktur *asphalt* yang padat dan mempunyai kandungan lompang udara yang paling rendah, seterusnya menghasilkan *asphalt* yang mempunyai ketumpatan yang maksimum. Walhal, tujuan sebenar mencampurkan pelbagai saiz agregat dalam menghasilkan *asphalt* adalah untuk mendapatkan jarak optimum di antara partikel agregat.

Kajian terdahulu menunjukkan kandungan lompang udara dalam mineral agregat (VMA) yang diperlukan adalah di antara 17 - 20% dan peratusan kandungan lompang udara terisi bitumen (VFB) adalah di antara 70 - 80% bagi lapisan haus serta 65% - 75% bagi lapisan pengikat seperti ketetapan dalam **Jadual 4.3.5 JKR/SPJ**. Hasil kajian menunjukkan jumlah kandungan lompang udara dalam *asphalt* (VIM) adalah di antara 3 - 5% bagi lapisan haus dan 3 - 7% bagi lapisan pengikat seperti ketetapan dalam **Jadual 4.3.5 JKR/SPJ**.

Jika VMA adalah lebih tinggi dari 20% lebih banyak bitumen diperlukan bagi mendapatkan campuran yang mengandungi lompang udara seperti ketetapan dalam **JKR/SPJ**. Keadaan ini akan menghasilkan campuran yang kurang stabil dan berupaya berubah bentuk di bawah beban trafik. Sebaliknya, jika kandungan bitumen tidak mencukupi, daya tahan *asphalt* akan terjejas.

Bagi VMA yang kurang dari 17%, kesan yang dialami adalah sebaliknya, di mana jika jumlah bitumen yang ditambah adalah sekadar memenuhi keperluan lompang udara di dalam *asphalt*, bagi mendapatkan kandungan lompang udara yang dikehendaki dalam bancuhan, maka kandungan bitumen yang digunakan adalah terlalu rendah dan menjejaskan daya tahan. Walau bagaimanapun, jika kandungan bitumen yang ditambah adalah normal, VMA akan dipenuhi dengan bitumen dan bancuhan akan mempunyai kandungan lompang udara yang sangat rendah serta menghasilkan bancuhan yang kurang stabil dan boleh berubah bentuk di bawah beban trafik.

### Apakah yang terjadi jika kandungan lompang udara terlalu tinggi?

*Asphalt* yang telah siap dihampar dan dipadatkan akan terdedah kepada sinaran ultraungu dan oksigen di persekitaran. Kadar pengerasan (hardening) bitumen lebih ketara pada 3 mm daripada lapisan permukaan jalan dan berkurangan mengikut kedalaman.

Faktor utama yang menyebabkan pengerasan bitumen pada turapan jalan adalah kandungan lompang udara dalam bahan lapisan permukaan.

Pada kandungan lompang udara kurang daripada 5% kadar pengerasan bitumen sangat perlahan dan ia bersifat seperti tidak telap udara. Sebaliknya jika lompang udara melebihi 9% kadar pengerasan bitumen akan berlaku dengan lebih cepat.

# Rekabentuk Campuran - Soalan Lazim

## Apakah yang terjadi jika kandungan lompong udara terlalu rendah?

Kandungan lompong udara yang rendah biasanya terjadi apabila campuran tersebut mempunyai kandungan bitumen yang sangat tinggi. Apabila kandungan bitumen bertambah, ikatan di antara struktur agregat menjadi lemah, *asphalt* akan mengalami ketidakstabilan struktur selain menyebabkan bahan permukaan jalan itu mengalami kegagalan ricih (shears) apabila beban trafik dikenakan.

## Job mix formula

### Apakah keadaan yang membenarkan formula bancuhan rekabentuk sedia ada digunakan semula?

Mengikut ketetapan dalam *National Asphalt Specification of Australia*, formula rekabentuk campuran sedia ada boleh digunakan sekiranya perkara-perkara berikut dipatuhi:

- Projek dilaksanakan dalam tempoh 2 tahun dari tarikh pengesahan formula rekabentuk campuran terdahulu.
- Jenis, kualiti dan sumber kesemua bahan-bahan bancuhan adalah sama.
- Kadar bahan-bahan bancuhan adalah tidak melebihi 20% dari formula bancuhan kerja asal.
- Prestasi kebolehhidmatan formula bancuhan kerja terdahulu adalah memuaskan.

## Pengisi mineral (*Mineral filler*)

### Apakah kegunaan pengisi mineral dalam campuran *asphalt*?

Selain daripada mengisi lompong udara di antara partikel agregat, pengisi mineral juga dapat mengurangkan peratus lompong sebanyak 3% - 5%, seperti ketetapan dalam **JKR/SPJ**. Penggunaan pengisi mineral juga dapat membantu meningkatkan ikatan mengunci di antara bahan campuran.

### Bahan pengisi - Mengapakah kapur lebih baik berbanding simen?

Berbanding simen, kapur terhidrat merupakan agen anti-pengikis yang lebih baik, di samping dapat bertindak sebagai bahan anti-pengoksidaan.

### Peranan kapur terhidrat sebagai agen *anti-stripping*;

Asid dari bitumen yang berpindah ke permukaan antara bitumen agregat akan menghasilkan garam bercampur sodium dan potassium yang seringkali melemahkan ikatan antara agregat. Garam yang terhasil merupakan garam mudah larut berbanding garam kalsium. Manakala penggunaan kapur menggalakkan pembentukan garam kalsium yang menyebabkan bahan menjadi lebih terikat.

### Kapur terhidrat sebagai bahan anti-pengoksidaan;

Penggunaan kapur di dalam campuran *asphalt* dapat mengurangkan kadar pengoksidaan dan seterusnya menguatkan bitumen. Proses ini berlaku apabila produk polar pengoksidaan yang terdapat pada permukaan kapur diserap dan bertindak sebagai agen pro-pengoksidaan.