

BAB II

LANDASAN TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *BOTTOM ASH*

Bottom ash adalah bahan buangan dari proses pembakaran batu bara pada pembangkit tenaga yang mempunyai ukuran yang partikel lebih besar dan lebih berat dari pada *fly ash*. Oleh sebab itu *bottom ash* akan jatuh pada dasar tungku pembakaran (*boiler*) dan terkumpul pada penampung debu (*ash hopper*) lalu dikeluarkan dari tungku.dengan cara disemprot dengan air untuk kemudian dibuang atau dipakai untuk keperluan tertentu (Coal Bottom Ash / Boiler Slag-Material Description, 2000).

Bottom ash dikategorikan menjadi *dry bottom ash* dan *wet bottom ash/boiler slag* berdasarkan jenis tungkunya. Debu yang berada dalam keadaan solid/padat di dasar tungku disebut *dry bottom ash*. Debu yang berada dalam keadaan cair / meleleh ketika jatuh kedalam air yang berada di *ash hopper*, dimana didalam air tersebut debu yang berada dalam keadaan meleleh itu akan mengkristal dan membentuk butiran – butiran yang disebut *wet bottom ash/boiler slag*. Kedua jenis debu ini dihasilkan oleh tungku yang berbeda yaitu *dry bottom boiler* yang menghasilkan *dry bottom ash* dan *slug - tup boiler* serta *cyclone boiler* yang menghasilkan *wet bottom ash/boiler slag*. Sifat dari *bottom ash* sangat bervariasi karena dipengaruhi oleh jenis batu baranya dan sistem pembakarannya

(Coal Bottom Ash / Boiler Slag-Material Description, 2000 dan Waller, 1993).

2.2 SIFAT – SIFAT BOTTOM ASH

a. Sifat fisik

Wet bottom ash (boiler slag) berbentuk angular (bersiku), berwarna hitam, keras, mempunyai permukaan yang mengkilap. *Boiler slag* pada dasarnya merupakan pasir berbutir kasar sampai sedang (*coarse to medium sand*), berukuran antara 5,0 sampai dengan 0,5 mm (ayakan No.4 sampai dengan No.40), yang terbagi menjadi 90 – 100% lolos ayakan No.4, 40 – 60% lolos ayakan No.10, 10% atau kurang lolos ayakan No.40, dan 5% atau kurang lolos ayakan No.200 (Coal Bottom Ash/Boiler Slag-Material Description, 2000, Harvey, 1998 dan Waller, 1993).

Dry bottom ash merupakan material yang berbutir kecil (*granular*), mempunyai berat yang lebih ringan daripada *boiler slag*, berwarna abu-abu gelap, tampak seperti pasir halus, serta memiliki permukaan yang sangat berpori. Ukuran partikel *dry bottom ash* berada antara kerikil halus (*fine gravel*) sampai pasir halus (*fine sand*) dengan sejumlah kecil partikel berukuran lempung lunak (*silt clay*). *Dry bottom ash* pada umumnya bergradasi 50 – 90% lolos ayakan No.4, 10 – 60% lolos ayakan No.40, 0 – 10% lolos ayakan No.200, dan ukuran terbesarnya berkisar antara 19 mm sampai 38,1 mm (Coal Bottom Ash/Boiler Slag-Material Description, 2000, Harvey, 1998 dan Waller, 1993).

Tabel 2.1. Sifat fisik khas dari *dry bottom ash* dan *boiler slag*

Sifat fisik <i>Bottom Ash</i>	<i>Wet</i>	<i>Dry</i>
Bentuk	Angular / bersiku	Berbutir kecil / granula
Warna	Hitam	Abu-abu gelap
Kelembutan	Keras, mengkilap	Seperti pasir halus, sangat berpori
Ukuran (% lolos ayakan)	No.4 (90-100%)	1.5 s/d 3/4 in (100%)
	No.10 (40-60%)	NO.4 (50-90%)
	No.40 ($\leq 10\%$)	No.10 (10-60%)
	No.200 ($\leq 5\%$)	No.40 (0-10%)
Specific gravity	2,3 – 2,9	2,1 – 2,7
Dry Unit Weight	960 – 1440 kg/m ³	720 – 1600 kg/m ³
Penyerapan	0,3 – 1,1%	0,8 – 2,0%

b. Sifat kimia

Komposisi kimia *dry* dan *wet bottom ash* pada umumnya tersusun dari senyawa SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, TiO₂, CaO, MgO, SO₃, dan unsur-unsur kimia lainnya.

Contoh komposisi unsur kimia penyusun *bottom ash* dari beberapa sumber batu bara di Amerika Serikat dan Indonesia dapat dilihat pada **tabel** dibawah ini:

Tabel 2.2. Koinposisi senyawa kimia penyusun *bottom ash* dari beberapa sumber batu bara di Amerika Serikat dan Indonesia.

Unsur kimia	Persentase kadar unsur kimia									
	<i>Bottom ash</i>								<i>Boiler slug</i>	
	West Virginia	Ohio	Texas	Adaro Kal-Sel	Bentala Kal-Sel	Berau Kal-Tim	BBE Kal-Tim	MHU Kal-Tim	West Virginia	North Dakota
SiO ₂	53.6	47.1	45.4	37.06	37.06	37.06	38.97	37.76	48.9	40.5
Al ₂ O ₃	28.3	28.3	19.3	15.70	7.12	21.76	19.95	14.65	21.9	13.8
Fe ₂ O ₃	5.8	10.7	9.7	17.58	12.50	18.00	18.02	18.09	14.3	14.2
CaO	0.4	0.4	15.3	17.38	31.73	13.95	10.42	15.97	1.4	22.4
MgO	4.2	5.2	3.1	6.08	16.89	6.26	4.45	5.29	5.2	5.6
Na ₂ O	1.0	0.8	1.0	0.51	0.37	0.47	1.54	0.44	0.7	1.7
SO ₃	-	-	-	3.38	8.8	2.14	2.98	4.4	-	-

Sumber: Megawati dan Henny, 2000, dan Coal Bottom Ash/Boiler Slag-Material Description, 2000

Komposisi kimia penyusun dari partikel *bottom ash* ini lebih banyak ditentukan oleh sumber/jenis batu baranya, dan bukan oleh tipe tunggunya. (Coal Bottom Ash/Boiler Slag-Material Description, 2000).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Moulton (1973), didapat bahwa adanya kandungan garam **dan pH** yang rendah dari *bottom ash* dapat menimbulkan sifat korosif pada *bottom ash*, yang dapat menyebabkan **korosi** pada **struktur** dari baja diatas jalan yang **bersentuhan** dengan material ini. Indikator untuk mengetahui korosivitas dari *bottom*

ash yaitu dari pH, kandungan klorida terlarut atau kandungan sulfat terlarut, dan tahanan listriknya. Material tidak bersifat korosif jika pH melebihi 5,5, tahanan listrik lebih dari 1500 ohm-cm, kandungan **klorida** terlarut kurang dari 200 **ppm** atau kandungan sulfat terlarut kurang dari 1000 **ppm**. Rendahnya nilai **pH** yang ditunjukkan oleh tingginya kandungan sulfat yang terlarut menunjukkan adanya kandungan *pyrite* (*iron sulfide*) yang besar (Coal Bottom Ash/Boiler Slag-Material Description, 2000).

c. Sifat mekanis

Tabel 2.3. Sifat mekanis tipikal dari *dry bottom ash* dan *boiler slag*.

Sifat mekanis	<i>Dry bottom ash</i>	<i>Boiler slag</i>
Max. Dry Density	1210 – 1620 kg/m ³	1330 – 1650 kg/m ³
Kelembaban optimum	12–24% (umumnya <20)	8 – 20%
Test Abrasi LA (% kehilangan)	30 – 50	24 – 48
Sodium Sulfat Soundness test (% kehilangan)	1,5 – 10	1 – 9
Kuat geser (sudut geser)	38 – 42° 38 – 45 ° (untuk ukuran butir < 9,5 mm)	38 – 42" 38 – 46" (untuk ukuran butir < 9,5 mm)
CBR (%)	40 – 70	40 – 70
Koefisien permeabilitas	10 ⁻² – 10 ⁻³ cm/det	10 ⁻² – 10 ⁻³ cm/det
<i>Friable</i> partikel	Ada	Tidak ada

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Moulton (1973), Majizadeh (1979) dan Lovell (1991), nilai maksimum *dry density* dari *dry bottom ash* maupun *boiler slag* umumnya lebih rendah 10 sampai 25% dibandingkan material *granular* (berbutir kecil) biasa seperti pasir, tetapi kelembaban optimumnya lebih besar daripada material granular lainnya.

Dari penelitian tersebut didapati juga bahwa kelembaban optimum dari *dry bottom ash* lebih besar daripada *boiler slug*. Moulton (1973) pada penelitiannya mendapati bahwa *boiler slag* menunjukkan kehilangan abrasi dan keausan yang lebih kecil daripada *dry bottom ash*. Hal ini disebabkan oleh permukaan dari *boiler slug* yang mengkilap, halus dan porositasnya yang rendah.

Besarnya nilai kehilangan pada test keausan dengan Sodium Sulfat menunjukkan adanya kandungan *pyrite* yang ditunjukkan dari kandungan sulfat terlarut yang berlebihan dalam *bottom ash*. *Pyrite* yang ada dalam *bottom ash* harus dibuang dengan elektromagnet sebelum digunakan, sebab *pyrite* merupakan partikel yang ekspansif dan apabila terkena air dalam waktu lama akan mempercepat kerusakan jalan.

Hal penting lainnya yang perlu diperhatikan yaitu adanya *friable* partikel (umumnya pada *dry bottom ash*), yaitu kerak batu bara yang berbentuk seperti keibang (*pop-corn* partikel). Partikel ini mudah hancur akibat pemadatan dan sangat berpori sehingga akan banyak menyerap aspal, dimana hal ini akan menyebabkan meningkatnya kadar aspal optimum yang diperlukan (Coal BottomAsh / Boiler Slag-Material Description, dan Asphalt Concrete, 2000).

23 PENGGUNAAN *BOTTOMASH* PADA KONSTRUSI JALAN RAYA

Dry dan *wet bottom ash* telah digunakan sebagai agregat halus pada perkerasan jalan selama kurang lebih 25 tahun terakhir di Amerika Serikat

dan menunjukkan hasil yang memuaskan. The American Coal Ash Association juga melaporkan bahwa sepanjang tahun 1996 lebih dari 83.000 ton *boiler slug* dan 16.000 ton *dry bottom ash* telah digunakan pada perkerasan jalan aspal.

Karena *dry bottom ash* pada umumnya mengandung *pyrite* dan memiliki partikel berbentuk seperti kerak (*friable particles*) yang mempunyai porositas tinggi serta tidak kuat menahan tumbukan, maka *dry bottom ash* lebih sering digunakan pada campuran aspal emulsi dingin, campuran aspal panas pada bagian pondasi jalan, perkerasan kaku, atau pada konstruksi bahu jalan (Coal Bottom Ash/Boiler Slag-Asphalt Concrete, 2000, Harvey, 1998, Ghafoori, 1998).

Salah satu contoh pemakaian *dry bottom ash* pada perkerasan flexible yaitu di West Virginia, Amerika Serikat, dimana pemakaian *dry bottom ash* pada campuran aspal emulsi dingin sebesar 6 sampai 7 % terhadap berat aspal emulsi, pada jalan kelas dua, dengan volume lalu lintas sedang, menunjukkan hasil yang memuaskan sepanjang tahun 1970-an sampai dengan 1980-an. Tetapi pada pemakaian *dry bottom ash* untuk lapis permukaan jalan aspal campuran panas di West Virginia, menunjukkan bahwa kandungan *pyrite* pada *dry bottom ash* menimbulkan noda merah pada permukaan jalan dan menimbulkan lubang keropos pada permukaan jalan (Coal Bottom Ash/Boiler Slag-Asphalt Concrete, 2000).

Selain itu Ghafoori (1998) mengadakan penelitian mengenai penggunaan *dry bottom ash* sebagai agregat halus untuk perkerasan **kaku**

di Southern Illinois University, dan penelitian tersebut menunjukkan adanya peningkatan kekuatan dan impermeabilitas beton bila dibandingkan dengan pemakaian pasir (Ghafoori, **1998** dan Harvey, **1998**).

Di Amerika Serikat, *wet bottom ash (boiler slag)* lebih sering digunakan pada lapisan permukaan perkerasan jalan aspal karena terbukti dapat meningkatkan kekesatan (*skid resistance*). *Boiler slag* mempunyai daya lekat (*affinity*) yang baik dengan aspal serta memiliki permukaan yang bebas debu, yang dapat meningkatkan daya lekat agregat-aspal dan daya tahan terhadap pengelupasan aspal dari agregat (*stripping*). Selain itu *boiler slag* memiliki warna hitam yang tidak dapat memudar akibat sinar matahari atau cuaca sehingga dapat mempertahankan warna **hitam** aspal, yang dapat mengurangi pantulan sinar matahari dan mempercepat mencairnya salju (Coal Bottom Ash/Boiler Slag-Asphalt Concrete, 2000).

Sebagai **contoh** yaitu di West Virginia, Amerika Serikat, telah diperoleh bahwa pemakaian 50% *wet bottom ash*, **39%** pasir sungai, **3%** *fly ash* dan **8%** aspal untuk lapisan permukaan dengan ketebalan 12,7 sampai **50,8** mm (112 sampai 2 inch), dan digunakan sebagai pelapis kembali (*resurface*) pada lapisan permukaan perkerasan jalan aspal ternyata mampu memenuhi umur rencana 10 tahun, **dengan sedikit** perubahan pada permukaannya walaupun jalan tersebut dilalui oleh lalu lintas kendaraan berat. Sedangkan di **Texas** Selatan, pemakaian *wet bottom ash* sebanyak 75% dari berat *fine aggregate* dicampur dengan 25% *limestone* (batu kapur) dengan kadar aspal **6** sampai 7% sebagai pelapis

ulang pada perkerasan jalan dilaporkan mempertahankan permukaan jalan tetap berada dalam keadaan yang baik, tanpa terjadi *shoving*, *raveling*, dan mempertahankan warna hitam jalan, kekesatan jalan, sekalipun dilalui oleh kendaraan berat (Coal Bottom ash/Boiler Slag-Asphalt Concrete, 2000).

Berdasarkan uraian diatas, pada penelitian ini akan diteliti pengaruh pemakaian *bottom ash* sebagai pengganti agregat halus pada aspal beton, yaitu pengaruhnya terhadap kekuatan (*stability*), kelelahan plastis (*flow*), *air void*, *void filled* dan *Marshall quotient* campuran aspal beton.

2.4 ASPAL BETON

Aspal beton adalah aspal campuran panas yang bergradasi tertutup (bergradasi menerus). Gradasi menerus yaitu suatu komposisi **yang** menunjukkan pembagian butir yang merata mulai dari ukuran terbesar sampai terkecil. dengan material penyusunnya yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, filler dan aspal. Material tersebut (agregat dan aspal) dicampur dalam keadaan panas di pabrik, lalu dibawa kelokasi dan dihampar dengan alat penghampar sehingga didapat lapisan yang seragam dan merata, lalu dipadatkan dengan mesin pemadat dan akhirnya diperoleh lapisan padat aspal beton (Petunjuk Pelaksanaan Lapis **Aspal** Beton Untuk Jalan Raya, 1987, Sukirman, 1995).

Campuran aspal beton digunakan untuk memenuhi kebutuhan **akan** suatu lapisan permukaan jalan (*wearing course*) yang kedap air dan dapat memberi ketahanan terhadap aus pada jalan dengan beban lalu lintas **yang**

tinggi, dan juga berfungsi sebagai lapis antara pada perkerasan jalan yang mampu memberikan sumbangan daya dukung terhadap beban lalu lintas di atasnya (Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton Untuk Jalan Raya, 1987, Sukirman, 1995).

Material aspal beton terdiri dari :

1. Agregat

Yaitu sekumpulan butir – butir batu pecah, kerikil, pasir, atau mineral lainnya, baik merupakan hasil alam maupun hasil buatan. Agregat terdiri dari agregat kasar, agregat halus dan *filler*.

2. Aspal

Yaitu campuran yang terdiri dari bitumen dan mineral, yang berfungsi sebagai campuran bahan pengikat agregat dan pengisi ruang **kosong** antara rongga batuan.

3. *Additive*

Yaitu bahan tambahan yang berfungsi untuk meningkatkan kekuatan campuran. Pemakaian *additive* bukan keharusan, dan digunakan untuk mencapai kekuatan campuran aspal beton yang kita inginkan.

2.5 FUNGSI DAN SIFAT ASPAL BETON

Aspal beton adalah aspal campuran panas yang bergradasi tertutup (bergradasi menerus) dan mempunyai fungsi sebagai berikut:

- a. Memberi sumbangan daya dukung terhadap beban lalu **lintas**.

- b. Sebagai lapisan kedap air yang dapat melindungi konstruksi dibawahnya terhadap pengaruh air dan cuaca.
- c. Menyediakan permukaan jalan yang rata dan tidak licin.
- d. Sebagai lapisan aus.
- e. Sebagai lapis pondasi atas
- f. Sebagai lapis pembentuk pondasi, jika digunakan pada pekerjaan peningkatan atau pemeliharaan.

Sedangkan sifat – sifat dari aspal beton antara lain:

- a. Pembentukan gaya geser melalui gaya kunci (*interlock*) antar partikel dan kohesi antara butir yang diperoleh dari bitumen pengikat.
- b. Dapat menahan beban lalu lintas diatasnya (mempunyai nilai struktural).
- c. Mempunyai ~~stabil~~itas yang tinggi.
- d. Kedap air.
- e. Tidak mudah aus akibat beban lalu lintas.
- f. Peka terhadap suhu
- g. Peka terhadap penyimpangan perencanaan dan pelaksanaan.

(Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton Untuk Jalan Raya, 1987, Sukirman, 1995, Henny dan Roosmiati, 2000)

2.6 SPESIFIKASI ASPAL BETON

Aspal beton dikategorikan menjadi **AC I** sampai **AC XI**. Dan semua tipe, AC X dan **AC XI** adalah yang paling sering digunakan karena

menghasilkan permukaan yang lebih halus, lebih awet dan digunakan pada jalan dengan beban lalu lintas yang tinggi dan berat, pada **lokasi** dimana permukaan jalan lebih mudah untuk menjadi aus yaitu pada **lokasi** dimana permukaan jalan mengalami tekanan roda yang lebih besar seperti tikungan tajam, tanjakan dan turunan (Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton Untuk Jalan Raya, 1987).

Berdasarkan nilai penetrasinya, pada aspal beton digunakan AC pen 60/70 dan AC pen 80/100. AC dengan penetrasi rendah digunakan di daerah bercuaca panas dan bervolume lalu lintas tinggi. Sedangkan AC dengan penetrasi tinggi *digunakan* di daerah bercuaca dingin dengan volume lalu lintas rendah. Pada umumnya daerah di Indonesia termasuk Surabaya menggunakan AC pen 60/70 (Sukirman, 1995).

Pada pembuatan campuran aspal beton (AC) diberikan spesifikasi oleh Departemen PU (1987) mengenai gradasi agregat campuran sesuai dengan tipe AC yang digunakan. Untuk penelitian ini digunakan Asphalt Concrete tipe XI dengan spesifikasi gradasi agregat campuran sebagai berikut:

Tabel 2.4. Spesifikasi gradasi menerus agregat campuran AC XI.

No Saringan	Batas Spesifikasi
$\frac{3}{4}$ " (19mm)	100
$\frac{3}{8}$ " (9.53 mm)	70-92
No. 4 (4.76 mm)	48-70
No. 8 (2.38 mm)	33-53
No. 30 (0.59 mm)	15-30
No. 50 (0.279 mm)	10-28
No. 200 (0.075 mm)	4-9

2.7 PERENCANAAN CAMPURAN ASPAL BETON

Karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh campuran panas aspal beton adalah:

1. Stabilitas, yaitu kekuatan dari campuran aspal untuk menahan deformasi akibat beban tetap dan berulang tanpa mengalami keruntuhan (*plastic flow*). Untuk mendapat stabilitas yang tinggi diperlukan agregat bergradasi baik, rapat, dan mempunyai rongga antar butiran agregat (VMA) yang kecil. Tetapi akibat VMA yang kecil maka pemakaian aspal yang banyak akan menyebabkan terjadinya *bleeding* karena aspal tidak dapat menyelimuti agregat dengan baik.
2. Durabilitas atau ketahanan, yaitu ketahanan campuran aspal terhadap pengaruh cuaca, air, perubahan suhu, maupun keausan akibat gesekan roda kendaraan. Untuk mencapai ketahanan yang tinggi diperlukan rongga dalam campuran (VIM) yang kecil, sebab dengan demikian udara tidak (atau sedikit) masuk ke dalam campuran yang dapat menyebabkannya menjadi rapuh. Selain itu diperlukan juga **VMA** besar, sehingga aspal dapat menyelimuti agregat lebih baik.
3. Fleksibilitas atau kelenturan, yaitu kemampuan lapisan untuk dapat mengikuti deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas berulang tanpa mengalami retak (*fatigue cracking*). Untuk mencapai kelenturan **yang** tinggi diperlukan VMA yang besar, VIM yang kecil, dan pemakaian aspal dengan penetrasi tinggi.

4. Kekesatan (*skid resistance*), yaitu kemampuan perkerasan aspal memberikan permukaan jalan yang cukup kesat sehingga kendaraan yang melaluinya tidak mengalami slip, baik diwaktu jalan basah maupun kering. Untuk mencapai kekesatan yang tinggi perlu pemakaian kadar aspal yang tepat sehingga tidak terjadi *bleeding*, dan penggunaan agregat kasar yang cukup.
5. Ketahanan lelah (*fatigue resistance*), yaitu kemampuan aspal beton untuk mengalami beban berulang tanpa terjadi kelelahan berupa retak atau kerusakan alur (*rutting*).
6. Permeabilitas, yaitu kemudahan campuran aspal dirembesi udara dan air.
7. Workabilitas, yaitu kemudahan campuran aspal **untuk** diolah. **Faktor** yang mempengaruhi workabilitas antara lain gradasi agregat, dimana agregat yang bergradasi baik lebih mudah dikerjakan, dan kandungan *filler*, dimana *filler* yang banyak akan mempersulit pelaksanaan.

(Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton Untuk Jalan Raya, **1987**, Sukirman, 1995)

Oleh karena itu untuk menghasilkan campuran aspal beton yang bermutu baik maka aspal beton tersebut harus mempunyai sifat-sifat sebagai berikut:

- 1 Kadar aspal cukup memberikan kelenturan.
- 2 Stabilitas cukup memberikan kemampuan untuk dapat memikul **beban**.
- 3 Kadar rongga udara cukup untuk menampung penambahan kekuatan.

- 4 Workabilitas yang cukup untuk memudahkan pengerjaan dan tidak terjadi segregasi.
- 5 Dapat menghasilkan campuran yang akhirnya menghasilkan lapis perkerasan yang sesuai dengan persyaratan.

(Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton Untuk Jalan Raya, 1987, Sukirman, 1995)

Dalam perencanaan campuran aspal beton ada 4 komponen penting yang harus diperhatikan, yaitu:

1. Agregat kasar

Agregat kasar adalah agregat yang tertahan pada saringan No. **8** atau **2,38** mm. Agregat kasar harus terdiri dari batu pecah atau kerikil pecah yang bersih, kering, kuat, awet, bebas dari bahan-bahan yang mengganggu, serta memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:

- a. Keausan agregat yang diperiksa dengan mesin **Los Angeles** pada 500 putaran (PB 0206-76 MPBJ) harus bernilai maksimum 40%.
- b. Kelekatan agregat dengan aspal harus lebih besar dari 95% (PB 0205-76 MPBJ).
- c. Jumlah berat butiran tertahan saringan No. **4** yang mempunyai minimum dua bidang pecah (visual); min. 50% (khusus untuk kerikil **pecah**).
- d. Indeks kepipihan / kelonjongan agregat tertahan 9.5 mm atau **3/8"** (British ~~Standards-812~~): maksimum 25%.
- e. Penyerapan **air** (PB 0202-76 MPBJ) maksimum **3%**.

- f. Berat jenis (*bulk specific density*), berat jenis semu, berat jenis kering permukaan jenuh (SSD) agregat (PB 0202-76 MPBJ) minimum 2,50.
- g. Bagian batu yang lunak (AASHTO T-189): maksimum 5%.
- h. Gradasi agregat kasar hasil analisa ayakan harus memenuhi salah satu dari kelompok gradasi ditabel 2.9. (AASHTO M 43 – 54).

2. Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat yang lolos saringan No.8 atau 2,38 mm. Agregat halus harus terdiri dari pasir alam, pasir buatan, pasir terak, atau gabungan dari bahan tersebut. Agregat halus harus mempunyai butir-butir yang bersudut tajam dan mempunyai permukaan yang kasar, serta bersih dari kotoran, kering, bersih dan kuat.

Agregat halus harus memenuhi syarat sebagai berikut:

- a. Nilai sand equivalent (AASHTO T-176) agregat minimum 50 %.
- b. Berat jenis (*bulk specific density*), berat jenis semu, berat jenis kering permukaan jenuh (SSD) agregat (PB 0203-76 MPBJ) minimum 2,50.
- c. Berdasarkan pemeriksaan Atterberg (PB 0109-76 MPBJ), agregat harus non plastis.
- d. Peresapan agregat terhadap air (PB 0202-76) maksimum 3 %.
- e. Gradasi agregat halus hasil analisa ayakan harus memenuhi salah satu dari kelompok **gradasi** dibawah ini (AASHTO M 29 – 70):

Tabel 2.5. Gradasi agregat halus

Saringan	I	II	III
3/8"	100	.....	100
4	95 – 100	100	80 – 100
8	70 – 100	95 – 100	65 – 100
16	40 – 80	85 – 100	40 – 80
30	20 – 65	65 – 90	20 – 65
50	7 – 40	30 – 60	7 – 40
100	2 – 20	5 – 25	2 – 20
200	0 – 10	0 – 5	0 – 10

Sumber : AASHTO M 29 – 70

3 *Filler*

Filler ialah bahan pengisi rongga dalam campuran (*void in mix*) yang berbutir halus dan lolos saringan No.30 dimana persentase berat yang lolos saringan No.200 minimum 65% (Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton Untuk Jalan Raya, 1987). Debu batu kapur, debu dolomits atau semen portland (PC) dapat digunakan sebagai *filler*. Pada perkerasan jalan, *filler* berfungsi untuk meningkatkan stabilitas dan mengurangi rongga udara dalam campuran. Bahan *filler* harus tidak tercampur dengan kotoran, kering (kadar air maximum 1%), bebas dari bahan lain yang mengganggu. Apabila dilakukan pemeriksaan analisa saringan secara basah, harus memenuhi gradasi sebagai berikut :

Tabel 2.6. Gradasi *filler*

Ukuran Saringan	Persentase Berat yang Lolos
No.30 (0,590 mm)	100
No.50 (0,279 mm)	95-100
No.100(0,149mm)	90-100
No.200(0,075mm)	65-100

Sumber : Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton Untuk Jalan Raya – 2.4.26. 1987

4. Aspal

Aspal adalah bahan bersifat semen berwarna coklat gelap sampai hitam. Dapat berbentuk padat, agak padat, atau cair dengan unsur utama bitumen yang ada di alam hasil residu penyulingan meinyak mentah. Aspal untuk lapis aspal beton harus terdiri dari salah satu aspal keras penetrasi 60/70 atau 80/100 yang seragam, tidak mengandung air, bila dipanaskan sampai dengan 175°C tidak berbusa, dan memenuhi persyaratan sebagai berikut 1

Tabel 2.7. Persyaratan aspal keras

No.		Syarat				Satuan
		Pen 60/70		Pen 80/100		
		Min	Max	Min	Max	
1	Penetrasi (25°C-5 detik)	60	79	80	99	0.1 mm
2	Titik Lembek	48	58	46	54	°C
3	Titik Nyala	200		225		°C
4	Kehilangan Berat (163°C-5jam)		0.8		0.1	% Berat
5	Kelarutan (C ₂ HCL ₃)	99		99		% Berat
6	Daktilitas (25°C-5cm/menit)	100		100		Cm
7	Penetrasi Setelah Kehilangan Berat*	54		50		% Semula
8	Daktilitas Setelah Kehilangan Berat*	50		75		Cm
9	Berat Jenis (25°C)	1		1		gr/cc

mendapatkan campuran yang memenuhi syarat. Biasanya digunakan kadar aspal yang berkisar antara 4%-7.5%. Kadar aspal optimum yang diperoleh hams memenuhi syarat-syarat sebagai berikut :

Tabel 2.8. Persyaratan campuran lapis aspal beton

Sifat Campuran	LL Berat*		LL Sedang*		LL Ringan*	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Stabilitas (kg)	750		450		350	
Kelelehan (mm)	2.0	4.0	2.0	4.5	2.0	5.0
Stabilitas / Kelelehan (kg/mm)	200	350	200	350	200	350
% Rongga dalam Campuran	3	5	3	5	3	5
% Rongga Terisi Aspal	75	82	75	85	75	85
Indeks Perendaman	75		75		75	

Tabel

Size Number	Nominal size, square openings	Amounts finer than each laboratory sieve (square openings), weight percent														
		100 mm (4 in)	90 mm (3 1/2 in)	75 mm (3 in)	63 mm (2 1/2 in)	50 mm (2 in)	37.5 mm (1 1/2 in)	25 mm (1 in)	19 mm (3/4 in)	12.5 mm (1/2 in)	9.5 mm (3/8 in)	4.75 mm (No.4)	2.36 mm (No.8)	1.18 mm (No.16)	300 μm (No.50)	150 μm (No.100)
1	90 - 37.5 mm (3.5 - 1.5 in)	100	90 - 100	....	25 - 60	....	0 - 15	....	0 - 5	....	....	....	....	....	....
2	63 - 37.5 mm (2.5 - 1.5 in)	....	....	100	90 - 100	35 - 70	0 - 15	....	0 - 5	....	....	....	....	....	....
24	63 - 19.0 mm (2.5 - 3/4 in)	....	....	100	90 - 100	....	25 - 60	....	0 - 10	0 - 5	....	....	....	....	....
3	50 - 25.0 mm (2 - 1 in)	....	....	....	100	90 - 100	35 - 70	0 - 15	....	0 - 5	....	....	....	....	....
357	50 - 4.75 mm (2 in - No.4)	....	....	....	100	95 - 100	....	35 - 70	....	10 - 30	....	0 - 5	....	....	....
4	37.5 - 19 mm (1 1/2 - 3/4 in)	....	....	....	....	100	90 - 100	....	20 - 55	0 - 15	....	0 - 5	....	....	....
467	37.5 - 4.75 mm (1 1/2 in - No.4)	....	....	....	....	100	95 - 100	....	35 - 70	....	10 - 30	0 - 5	....	....	....
5	25 - 12.5 mm (1 - 1/2 in)	....	....	....	....	....	100	90 - 100	20 - 55	0 - 10	0 - 5	....	....	....	....
56	25 - 9.5 mm (1 - 3/8 in)	....	....	....	....	....	100	90 - 100	40 - 75	15 - 35	0 - 15	0 - 5	....	....	....
57	25.0 - 4.75 mm (1 in - No.4)	....	....	....	....	....	100	95 - 100	....	25 - 60	....	0 - 10	0 - 5	....	....
6	19 - 9.5 mm (3/4 - 3/8 in)	....	....	....	....	....	....	100	90 - 100	20 - 55	0 - 15	0 - 5	....	....	....
67	19 - 4.75 mm (3/4 in - No.4)	....	....	....	....	....	....	100	90 - 100	....	20 - 55	0 - 10	0 - 5	....	....
68	19 - 2.36 mm (3/4 in - No.8)	....	....	....	....	....	....	100	90 - 100	....	30 - 65	5 - 25	0 - 10	0 - 5	....
7	12.5 - 4.75 mm (1/2 in - No.4)	....	....	....	....	....	....	....	100	90 - 100	40 - 70	0 - 15	0 - 5	....	....
78	12.5 - 2.36 mm (1/2 in - No.8)	....	....	....	....	....	....	....	100	90 - 100	40 - 75	5 - 25	0 - 10	0 - 5	....
8	9.5 - 2.36 mm (3/8 in - No.8)	....	....	....	....	....	....	....	....	100	85 - 100	10 - 30	0 - 10	0 - 5	....
89	9.5 - 1.18 mm (3/8 in - No.16)	....	....	....	....	....	....	....	....	100	90 - 100	20 - 55	5 - 30	0 - 10	0 - 5
9	4.75 - 1.18 mm (No.4 - No.16)	....	....	....	....	....	....	....	....	....	100	85 - 100	10 - 40	0 - 10	0 - 5
10	4.75 mm (No.4 - 0.075)	100	85 - 100	10 - 30

Sumber: AASHTOM 43 - 54