

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Aspal

Aspal merupakan senyawa hidrokarbon berwarna coklat gelap atau hitam pekat yang dibentuk dari unsur-unsur *asphathenes*, *resins*, dan *oils*. Aspal pada lapis perkerasan berfungsi sebagai bahan ikat antara agregat untuk membentuk suatu campuran yang kompak, sehingga akan memberikan kekuatan masing-masing agregat (*Kerbs and Walker*, 1971). Konstituen utama aspal adalah bitumen yang terdapat di alam atau diperoleh dari hasil pengolahan minyak bumi. Aspal memiliki sifat sebagai perekat, dan ketahanan yang tinggi terhadap air (*Asphalt Institute*, 2001). Selain sebagai perekat, aspal juga berfungsi untuk mengisi rongga antara butir agregat dan pori-pori yang ada dari agregat itu sendiri.

Aspal adalah material termoplastik yang akan menjadi keras atau lebih kental jika temperatur berkurang dan akan lunak atau lebih cair jika temperatur bertambah. Sifat ini dinamakan kepekaan terhadap perubahan temperatur, yang dipengaruhi oleh komposisi kimiawi aspal walaupun mungkin mempunyai nilai penetrasi atau viskositas yang sama pada temperatur tertentu. Aspal yang mengandung lilin lebih peka terhadap temperatur dibandingkan dengan aspal yang tidak mengandung lilin. Hal ini terlihat pada aspal yang mempunyai viskositas yang sama pada temperatur tinggi tetapi sangat berbeda viskositas pada temperatur rendah. Kepekaan terhadap temperatur akan menjadi dasar perbedaan umur aspal untuk menjadi retak ataupun mengeras. Bersama dengan agregat, aspal merupakan material pembentuk campuran perkerasan jalan (*Sukirman*, 2003).

Aspal jenis ini didapatkan dari proses penyulingan minyak bumi dalam keadaan hampa udara (SNI 6749:2008). Terdiri dari dua kelas utama senyawa, yaitu asphaltene dan maltene. Asphaltene mengandung campuran kompleks hidrokarbon (5% - 25%), terdiri dari cincin aromatik kental dan senyawa heteroaromatik yang mengandung belerang, amina, amida, senyawa oksigen (keton, fenol atau asam karbosilat), nikel dan vanadium. Di dalam maltene terdapat tiga komponen penyusun yaitu *saturated*, aromatis, dan resin (*Nuryanto*, 2008).

Di Indonesia, aspal keras atau aspal semen biasanya dikategorikan berdasarkan nilai penetrasinya, yaitu sebagai berikut :

1. AC (*Asphalt Concrete*) dengan penetrasi antara 40-50
2. AC (*Asphalt Concrete*) dengan penetrasi antara 60-70
3. AC (*Asphalt Concrete*) dengan penetrasi antara 85-100
4. AC (*Asphalt Concrete*) dengan penetrasi antara 120-150
5. AC (*Asphalt Concrete*) dengan penetrasi antara 200-300

Aspal dengan penetrasi rendah digunakan di daerah beruaca panas atau lalu lintas dengan volume tinggi, sedangkan aspal semen dengan penetrasi tinggi digunakan untuk daerah yang beruaca dingin ataupun lalu lintas dengan volume rendah. Di Indonesia pada umumnya digunakan aspal semen dengan penetrasi 60/70 dan 85/100.

### 2.1.1 Sifat-Sifat Fisik Aspal

Aspal sebagai bahan pengikat sering dikarakterisasi sesuai dengan sifat-sifat fisiknya. Sifat-sifat fisik aspal secara langsung menggambarkan bagaimana aspal tersebut berkontribusi terhadap kualitas perkerasan aspal campuran panas. Pengujian fisik aspal yang paling awal adalah pengujian yang diturunkan secara empiris seperti pengujian penetrasi, pengujian viskositas aspal yang merupakan cara untuk menggambarkan sifat-sifat fisik aspal sebagai bahan pengikat. Hingga kini hubungan sifat-sifat fisik aspal hasil pengujian dan di lapangan terkadang tidak memuaskan.

Sifat-sifat fisik aspal yang sangat mempengaruhi perencanaan, produksi dan kinerja campuran beraspal antara lain adalah sebagai berikut :

#### 1. Durabilitas

Kinerja aspal sangat dipengaruhi oleh sifat aspal tersebut setelah digunakan sebagai bahan pengikat dalam campuran beraspal dan dihampar di lapangan. Hal ini disebabkan karena sifat-sifat fisik aspal akan berubah secara signifikan akibat oksidasi dan pengelupasan yang terjadi pada saat pencampuran, pengangkutan dan penghamparan campuran beraspal di lapangan. Perubahan sifat ini akan menyebabkan aspal menjadi berdaktilitas rendah atau dengan kata lain aspal telah mengalami penuaan. Kemampuan aspal untuk menghambat laju penuaan ini disebut durabilitas aspal.

Pengujian bertujuan untuk mengetahui seberapa baik aspal untuk mempertahankan sifat –sifat awalnya akibat proses penuaan. Walaupun banyak faktor lain yang menentukan, aspal dengan durabilitas yang baik akan menghasilkan campuran dengan kinerja baik pula. Pengujian kuantitatif yang biasanya dilakukan untuk mengetahui durabilitas aspal adalah pengujian penetrasi, titik lembek, kehilangan berat dan daktilitas. Pengujian ini dilakukan pada benda uji yang telah mengalami *Pressure Aging Vassel ( PAV)*, *Thin Film Oven Test ( TFOT)* dan *Rolling Thin Film Oven Test ( RTFOT)*. Dua proses penuaan terakhir merupakan proses penuaan yang paling banyak digunakan untuk mengetahui durabilitas aspal. Sifat aspal terutama Viskositas dan penetrasi akan berubah bila aspal tersebut mengalami pemanasan atau penuaan. Aspal dengan durabilitas yang baik hanya mengalami perubahan.

#### 2. Adesi dan Kohesi

Adesi adalah kemampuan partikel aspal untuk melekat satu sama lainnya, dan kohesi adalah kemampuan aspal untuk melekat dan mengikat agregat. Sifat adesi dan kohesi aspal sangat penting diketahui dalam pembuatan campuran beraspal. Karena sifat ini mempengaruhi kinerja dan durabilitas campuran.

Uji daktilitas aspal adalah suatu pengujian kualitatif yang secara tidak langsung dapat dilakukan untuk mengetahui tingkat adesifnes atau daktilitas aspal keras. Aspal keras dengan nilai daktilitas yang rendah adalah aspal yang memiliki daya adesi yang kurang baik dibandingkan dengan aspal yang memiliki nilai daktilitas yang tinggi.

Uji penyelimutan aspal terhadap batuan merupakan uji kuantitatif lainnya yang digunakan untuk mengetahui daya lekat (kohesi) aspal terhadap batuan. Pada pengujian ini, agregat yang telah diselimuti oleh film aspal direndam dalam air dan dibiarkan selama 24 jam dengan atau tanpa pengadukan. Akibat air atau

kombinasi air dengan gaya mekanik yang diberikan, aspal yang menyelimuti permukaan agregat akan terkelupas kembali. Aspal dengan gaya kohesi yang kuat akan melekat erat pada permukaan agregat, oleh sebab itu pengelupasan yang terjadi sebagai akibat dari pengaruh air atau kombinasi air dengan gaya mekanik sangat kecil atau bahkan tidak terjadi sama sekali.

3. Kepekaan aspal terhadap temperatur

Seluruh aspal bersifat termoplastik yaitu menjadi lebih keras bila temperatur menurun dan melunak bila temperatur meningkat. Kepekaan aspal untuk berubah sifat akibat perubahan temperatur ini dikenal sebagai kepekaan aspal terhadap temperatur.

4. Pengerasan dan penuaan aspal

Penuaan aspal adalah suatu parameter yang baik untuk mengetahui durabilitas campuran beraspal. Penuaan ini disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu:

- a. Penguapan fraksi minyak yang terkandung dalam aspal, dan
- b. Oksidasi penuaan jangka pendek dan oksidasi yang progresif atau penuaan jangka panjang. Oksidasi merupakan faktor yang paling penting yang menentukan kecepatan penuaan.
- c. Polimerisasi, yaitu proses pembentukan molekul yang lebih besar dimana molekul-molekul ini akan menyebabkan pengerasan pada aspal yang bersifat progresif.
- d. Proses tixotropi yaitu proses dimana aspal sebagai bahan pengikat mengalami peningkatan nilai viskositas dan pengerasan aspal yang diakibatkan oleh proses hidrofilik dimana pada aspal terbentuk suatu kisi-kisi partikel.
- e. Proses syneresis, yaitu proses pemisahan bahan yang kurang viskos dari dalam aspal yang lebih viskos yang diakibatkan oleh penyusutan atau pengaturan ulang struktur-struktur bahan pengikat dalam aspal akibat proses fisik dan kimia (exxon, 1997).
- f. Proses pemisahan yaitu, hilangnya material-material yang turut membentuk aspal akibat proses pemisahan *resins*, *aspaltenes* dan *oil* oleh penyerapan selektif dari beberapa jenis agregat.

Sampai saat ini tidak ada pengukuran langsung mengenai proses penuaan aspal sebagai bahan pengikat. Hanya saja yang ada sekarang ini adalah pengukuran penuaan aspal dengan melakukan proses simulasi di laboratorium seperti pengujian nilai penetrasinya, pengujian geser dinamis (*Direct Shear Reometer*), uji tarik tidak langsung, uji *bending rheometer* serta pengujian viskositasnya.

Mensimulasikan efek dari penuaan aspal adalah penting dilakukan karena kualitas aspal yang tersedia di setiap negara adalah berbeda sehingga sifat-sifat fisik dalam hal proses penuaan juga akan berbeda. Penuaan aspal sebagai bahan pengikat dapat dikategorikan sebagai berikut :

1. Proses penuaan jangka pendek, terjadi pada saat aspal dipanaskan dan dicampur dengan agregat panas dalam alat pencampur di AMP.
2. Proses penuaan jangka panjang, yaitu terjadi pada saat jalan telah dibangun dan biasanya diakibatkan oleh pengaruh lingkungan dan beban lalu-lintas yang lewat di atasnya.

### 2.1.2 Jenis-Jenis Aspal

#### 1. Aspal Alam

Aspal alam ada yang diperoleh di gunung-gunung seperti aspal di pulau buton, dan ada pula yang diperoleh di pulau Trinidad berupa aspal danau. Aspal alam terbesar di dunia terdapat di Trinidad, berupa aspal danau. Indonesia memiliki aspal alam yaitu di Pulau Buton, yang terkenal dengan nama Asbuton (Aspal Pulau Buton). Penggunaan asbuton sebagai salah satu material perkerasan jalan telah dimulai sejak tahun 1920, walaupun masih bersifat konvensional. Asbuton merupakan batu yang mengandung aspal. Asbuton merupakan material yang ditemukan begitu saja di alam, maka kadar bitumen yang dikandungnya sangat bervariasi dari rendah sampai tinggi.

#### 2. Aspal Minyak

Aspal minyak bumi adalah aspal yang merupakan residu destilasi minyak bumi. Setiap minyak bumi dapat menghasilkan residu jenis asphaltic base crude oil yang mengandung banyak aspal, parafin base crude oil yang mengandung banyak parafin, atau mixed base crude oil yang mengandung campuran aspal dengan parafin. Untuk perkerasan jalan umumnya digunakan *asphaltic base crude oil*. Hasil destilasi minyak bumi menghasilkan bensin, minyak tanah, dan solar yang diperoleh pada temperatur berbeda-beda, sedangkan aspal merupakan residunya. Residu aspal berbentuk padat, tetapi dapat pula berbentuk cair atau emulsi pada temperatur ruang. Jadi, jika dilihat bentuknya pada temperatur ruang, maka aspal dibedakan atas beberapa bagian, yaitu :

1. Aspal padat adalah aspal yang berbentuk padat atau semi padat pada suhu ruang dan mencair jika dipanaskan. Aspal padat dikenal dengan nama semen aspal (*asphalt cement*). Oleh karena itu, semen aspal harus dipanaskan terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai bahan pengikat agregat.
2. Aspal cair (*asphalt cut-back*) yaitu aspal yang berbentuk cair pada suhu ruang. Aspal cair merupakan semen aspal yang dicairkan dengan bahan pencair dari hasil penyulingan minyak bumi seperti minyak tanah, bensin, atau solar. Bahan pencair membedakan aspal cair menjadi tiga bagian, yaitu *Slow Curing* dengan bahan pencair solar, *Medium Curing* dengan bahan pencair minyak tanah, dan *Rapid Curing* dengan bahan pencair bensin.
3. Aspal emulsi, yaitu campuran aspal (55%-65%) dengan air (35%-45%) dan bahan pengemulsi 1% sampai 2% yang dilakukan di pabrik pencampur. Aspal emulsi ini lebih cair daripada aspal emulsi. Dimana dalam aspal emulsi, butir-butir aspal larut dalam air. Untuk menghindari butiran aspal saling menarik membentuk butir-butir yang lebih besar, maka butiran tersebut diberi muatan listrik.

### 2.1.3 Reologi Aspal

Reologi aspal adalah studi mengenai perubahan bentuk dan *flow* suatu material aspal. Studi mengenai perubahan bentuk atau deformasi dan aliran atau *flow* aspal sebagai bahan pengikat adalah sangat penting untuk memprediksi kinerja perkerasan beraspal.

Perkerasan beton aspal yang terlalu besar deformasinya serta perubahan *flow* akan cepat mengalami alur dan *bleeding*, sedang bila aspal terlalu kaku maka perkerasan akan mengalami retak leleh dan retak akibat temperatur. Deformasi

yang terjadi pada perkerasan beton aspal terkait erat dengan sifat-sifat reologi dari aspal. Karena sifat-sifat reologi aspal berhubungan erat dengan variasi temperatur maka reologi aspal melibatkan dua pertimbangan utama yaitu sebagai berikut :

1. Pengukuran reologi aspal sebagai bahan pengikat harus diukur pada suhu referensi yang ditetapkan seperti suhu ruang (25°C).
2. Pengukuran reologi aspal juga harus mempertimbangkan suhu yang kemungkinan bisa terjadi selama masa layan perkerasan.

Beberapa jenis pengujian untuk melihat reologi aspal sebagai bahan pengikat adalah sebagai berikut :

1. Pengujian Penetrasi aspal  
Pengujian aspal yang tertua adalah termasuk pengujian penetrasinya yang dilakukan oleh H.C. Bowen dari *Barber Asphalt Paving* pelopor pembuat mesin alat uji penetrasi pada tahun 1888. Prinsip dasar dari pengujian penetrasi aspal adalah menentukan kedalaman jarum penetrasi pada kondisi suhu, beban dan waktu tertentu yaitu pada suhu 25°C, beban penetrasi 100 gram dan lama pembebanan jarum 5 detik.
2. Pengujian Titik lembek aspal  
Titik lembek aspal didefinisikan sebagai suhu dimana sampel aspal sudah tidak bisa lagi mendukung bola baja yang beratnya sekitar 3,5 gram. Pengujian ini pada mulanya banyak digunakan di negara-negara eropa dan di Amerika Serikat.
3. Pengujian Viskositas absolut dan kinematik aspal.
4. Pengujian daktilitas aspal.
5. Pengujian *Dinamic Shear Rheometer* (DSR).
6. Pengujian *Bending Beam Rheometer* (BBR).

Sementara pengujian untuk tujuan keamanan dan keselamatan pekerjaan meliputi:

1. Pengujian Titik nyala aspal.
2. Pengujian titik bakar aspal.

Pengujian kemurnian aspal dari bahan-bahan lain adalah sebagai berikut :

1. Pengujian kelarutan aspal (*Solubility of Bitumenous Materials*) sesuai metode AASHTO T-44 dan ASTM D 2042.
2. Pengujian destilasi dengan metode AASHTO T-55 dan ASTM D 95.
3. Pengujian kandungan aspal dalam campuran dengan metode AASHTO T-110 dan ASTM D 1461.

#### **2.1.4 Aspal Modifikasi**

Aspal modifikasi adalah aspal minyak yang ditambah dengan beberapa aditif, dengan maksud untuk meningkatkan kinerjanya. Aspal minyak yang ada di pasaran sekarang cenderung kehilangan beberapa sifat yang sangat dibutuhkan dalam fungsinya sebagai bahan pengikat agregat batuan pada lapis perkerasan. Awal kesadaran tentang hal itu adalah pelunakan aspal beton akibat panas permukaan jalan yang jauh lebih tinggi dari apa yang dikenal di negara subtropik, yang beranggapan panas permukaan jalan tidak akan lebih dari 60°C (Asphalt Institute, 1997). Berbagai cara dan jenis aditif dicoba untuk ditemukan agar titik lembek aspal yang ada di pasaran dapat dinaikkan dari 48°C menjadi paling tinggi 55°C, bahkan lebih tinggi untuk mengantisipasi permukaan beton aspal yang menderita panas permukaan tinggi, beban as berat, kendaraan berjalan lambat dan

alur ban bergerak seperti berjalan di atas kereta api (kanalisasi). Pemakaian aditif untuk menaikkan titik lembek ternyata berakibat menurunnya angka penetrasi aspal, sehingga aspal menjadi kering dan keras, serta menyulitkan dalam pengerjaannya. Aditif lain harus ditemukan untuk mengembalikan kelas aspal menjadi 60/70 kembali agar tidak mudah mengalami *ageing* (penuan), batas terendah untuk angka penetrasi sementara ini disepakati tidak kurang dari 40. Kesulitan lain mulai tampak dengan terlihatnya secara nyata aspal modifikasi yang terbentuk dengan titik lembek tinggi dan penetrasi 40 sehingga kehilangan kelengketan. Kesulitan produksi akhirnya berujung dengan tidak selalu semua aditif yang ditambahkan itu dapat bekerja sama secara sinergi membentuk kesatuan dalam peningkatan kinerja aspal. Salah satu contoh aspal modifikasi adalah aspal modifikasi polimer (Listiani, A., 2012).

Menurut Motlagh, A. (2012) pencampuran *Styrofoam* untuk menaikkan kinerja campuran beraspal ada 2 cara yaitu cara basah dan cara kering:

- a. Cara basah (*wet process*) yaitu suatu cara pencampuran dimana Styrofoam dimasukkan kedalam aspal panas dan diaduk dengan kecepatan tinggi sampai homogen. Cara ini membutuhkan tambahan dana cukup besar antara lain bahan bakar, mixer kecepatan tinggi sehingga aspal modifikasi yang dihasilkan harganya cukup besar bedanya dibandingkan dengan aspal konvensional.
- b. Cara kering (*dry process*) yaitu suatu cara pencampuran dimana Styrofoam dimasukkan kedalam agregat yang dipanaskan pada temperatur campuran, kemudian aspal panas ditambahkan. Cara ini lebih murah, dikatakan lebih murah karena tidak perlu ada aspal yang harus dikeluarkan dari tangki aspal di AMP apabila tangki aspal akan digunakan untuk keperluan pencampuran aspal dengan aspal konvensional. Selain lebih murah, cara kering ini juga lebih mudah karena hanya dengan memasukkan styrofoam dalam agregat panas, tanpa membutuhkan peralatan lain untuk mencampur (*mixer*). Kekurangan cara ini adalah harus benar-benar dapat dipertanggungjawabkan kehomogenan dan keseragaman kadar styrofoam yang dicampurkan. Limbah styrofoam yang digunakan harus hasil olahan yang telah dipilih, dicacah dan dicuci. Cacahan limbah *Styrofoam* yang digunakan harus kering, bersih dan terbebas dari bahan organik atau bahan yang tidak dikehendaki.

## **2.2 Jalan**

Jalan didefinisikan sebagai jalur akses penghubung antara suatu daerah dengan daerah lainnya serta menjadi prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukan bagi lalu lintas, yang berada pada permukaan tanah, di atas permukaan tanah, di bawah permukaan tanah atau air, serta di atas permukaan air, kecuali jalan kereta api, jalan lori, dan jalan kabel.

### **2.2.1 Perkerasan Jalan**

Pengertian perkerasan jalan adalah suatu lapisan yang terletak diatas tanah dasar yang telah mendapatkan pemadatan, yang berfungsi untuk memikul beban lalu lintas kemudian menyebarkan beban, baik kearah horizontal maupun vertikal dan akhirnya meneruskan beban ketanah dasar (*Subgrade*) sehingga beban pada

tanah dasar tidak melampaui daya dukung tanah yang diijinkan. Lapis perkerasan suatu jalan terdiri dari satu ataupun beberapa lapis material batuan dan bahan ikat. Bahan batuan dapat terdiri dari berbagai fraksi batuan yang direncanakan sedemikian sehingga memenuhi persyaratan yang dituntut. Secara umum konstruksi perkerasan Jalan dibagi menjadi 2 (dua) jenis yaitu :

a. Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)

Perkerasan lentur terbuat dari bahan batuan dari berbagai fraksi membentuk gradasi batuan yang sesuai dengan persyaratan dan diikat oleh bahan pengikat aspal. Perkerasan lentur umumnya mempunyai kelenturan yang cukup tinggi kalau dibandingkan dengan lapis keras kaku, sehingga sangat baik digunakan pada konstruksi Jalan yang mengalami lendutan yang relatif besar akibat beban lalu lintas.

b. Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

Perkerasan kaku adalah perkerasan yang terdiri dari komponen batuan (Aggregate) kerikil dan pasir yang dicampur dan diikat oleh bahan pengikat Semen Portland (PC). Perkerasan ini terdiri dari plat beton semen yang diletakkan langsung ditengah dasar yang telah dipersiapkan ataupun diatas pondasi (Base) agregat kelas A / B. Perbedaan utama dari perkerasan lentur dan perkerasan kaku adalah bagaimana cara struktur tersebut melimpahkan beban lalu lintas ke tanah dasar (Subgrade). Perkerasan kaku mampu menyebarkan beban pada tanah dasar dengan daerah penyebaran yang luas, sehingga tekanan yang diterima tanah dasar persatuan luas akibat beban lalu lintas menjadi sangat kecil. Kekakuan yang dimiliki oleh perkerasan kaku dapat ditingkatkan dengan memperbaiki mutu bahan penyusunnya yang berarti menaikkan mutu beton semennya. Berbeda dengan perkerasan kaku, pada perkerasan lentur terdiri dari beberapa lapis, sehingga kemampuan untuk melimpahkan beban lalu lintas ketanah dasar tergantung dari sifat - sifat penyebaran beban oleh masing - masing lapisan. Berdasarkan kenyataan diatas maka kekuatan dari Jenis perkerasan lentur ini ditentukan oleh kekuatan bahan penyusunnya, tebal masing - masing lapisan dan kekuatan tanah dasarnya.

c. Perkerasan Komposit

Perkerasan komposit ialah gabungan konstruksi perkerasan kaku (*rigid pavement*) dan lapisan perkerasan lentur (*flexible pavement*) di atasnya, dimana kedua jenis perkerasan ini bekerjasama dalam memikul beban lalu lintas. Untuk itu dibutuhkan adanya persyaratan ketebalan perkerasan aspal agar mempunyai kekakuan yang cukup serta dapat mencegah retak refleksi dari perkerasan beton. Letak perkerasan lentur tersebut dapat berada di atas perkerasan kaku ataupun perkerasan kaku berada diatas perkerasan lentur (Sukirman,2010).

### 2.2.2 Faktor Kerusakan Jalan

Menurut Sukirman (1999) kerusakan pada konstruksi perkerasan jalan dapat disebabkan oleh :

1. Lalu lintas, yang dapat berupa peningkatan beban dan repetisi beban
2. Air, yang dapat berasal dari air hujan, sistem drainase yang tidak berjalan dengan baik, naiknya air akibat sifat kapilaritas
3. Material konstruksi perkerasan, yang dapat disebabkan oleh sifat material itu sendiri atau biasa disebabkan oleh sistem pengolahan bahan itu sendiri

4. Iklim di Indonesia yang tropis cenderung mengakibatkan suhu udara dan curah hujan yang umumnya tinggi sehingga dapat menjadi salah satu penyebab kerusakan jalan
5. Kondisi tanah yang tidak stabil, kemungkinan bisa disebabkan oleh sistem pelaksanaan yang kurang baik, atau dapat juga disebabkan oleh sifat tanah dasarnya itu sendiri
6. Proses pemadatan lapisan di atas tanah dasar yang kurang baik. Umumnya kerusakan-kerusakan yang timbul itu tidak disebabkan oleh satu faktor saja, tetapi dapat juga merupakan gabungan dari penyebab yang saling berkaitan. Sebagai contoh adalah retak pinggir, pada awalnya dapat diakibatkan oleh tidak baiknya sokongan dari samping. Dengan terjadinya retak pinggir, memungkinkan air meresap masuk ke lapis di bawahnya yang melemahkan ikatan antara aspal dengan agregat, hal ini dapat menimbulkan lubang-lubang, disamping melemahkan daya dukung lapisan di bawahnya.

Adriyanto (2010) mengemukakan bahwa terdapat 2 macam jenis kerusakan jalan pada perkerasan yaitu kerusakan fungsional dan kerusakan struktural.

1. Kerusakan Fungsional

Kerusakan fungsional adalah kerusakan pada permukaan jalan yang dapat menyebabkan terganggunya fungsi jalan tersebut. Pada kerusakan fungsional, perkerasan jalan masih mampu menahan beban yang bekerja namun tidak memberikan tingkat kenyamanan dan keamanan seperti yang diinginkan. Untuk itu lapis permukaan perkerasan harus dirawat agar tetap dalam kondisi baik dengan menggunakan metode perbaikan standar Direktorat Jendral Bina Marga.

2. Kerusakan Struktural

Kerusakan struktural adalah kerusakan pada struktur jalan, sebagian atau seluruhnya yang menyebabkan perkerasan jalan tidak lagi mampu menahan beban yang bekerja di atasnya. Untuk itu perlu adanya perkuatan struktur dari perkerasan dengan cara pemberian pelapisan ulang (*overlay*), perbaikan dengan perkerasan kaku (*rigid pavement*), dan perbaikan dengan CTRB (*Cement Treated Recycling Base*).

### 2.3 Styrofoam

*Foamed polystyrene* dikenal luas dengan istilah *Styrofoam* yang sering kali digunakan secara tidak tepat oleh public karena sebenarnya *Styrofoam* merupakan nama dagang yang telah dipatenkan oleh perusahaan Dow Chemical. Oleh pembuatnya *Styrofoam* dimaksudkan untuk digunakan sebagai insulator pada konstruksi bangunan. *Styrofoam* atau *Foamed Polystyrene* (FPS) yang ringan dan praktis ini masuk dalam kategori jenis plastic. *Styrofoam* dibuat dari monomer stirena melalui polimerisasi suspensi pada tekanan suhu tertentu, selanjutnya dilakukan pemanasan untuk melunakkan resin dan menguapkan sisa *Blowing Agent*. Bahan dasar yang digunakan adalah 90-95% *polystyrene* dan 5-10% gas seperti butana atau pentana. *Polystyrene* yang berciri khas ringan, kaku, tembus cahaya, rapuh dan murah. *Foamed polystyrene* merupakan bahan plastik yang memiliki sifat khusus dengan struktur yang tersusun dari butiran dengan kerapatan rendah, mempunyai bobot ringan, dan terdapat ruang antara butiran yang berisi udara yang tidak dapat menghantar panas sehingga hal ini membuatnya menjadi insulator panas yang sangat baik.



Polistirena merupakan salah satu polimer yang ditemukan pada sekitar tahun 1930, dibuat melalui proses polimerisasi adisi dengan cara suspensi. Stirena dapat diperoleh dari sumber daya alam yaitu petroleum. Stirena merupakan cairan yang tidak berwarna menyerupai minyak atau bau seperti benzene dan memiliki rumus kimia  $C_6H_5CH=CH_2$  atau ditulis  $=C_8H_8$ .

Menurut beberapa penelitian yang telah diketahui bahwa *Styrofoam* berbahaya bagi kesehatan menurut Mulyanto (2013), bahayanya berasal dari butiran-butiran *Styrene* yang diproses menggunakan benzene. Benzene ialah yang dimaksud zat yang menimbulkan banyak penyakit. Selain itu, *Styrofoam* juga terbukti tidak ramah lingkungan, karena tidak dapat diuraikan sama sekali. Bahkan pada proses produksinya menghasilkan limbah yang tidak sedikit sehingga dikategorikan sebagai penghasil limbah berbahaya ke-5 terbesar menurut EPA ( *Environmental Protection Agency* ). Bahaya yang dapat ditimbulkan *Styrofoam* ini terhadap kesehatan dan lingkungan, maka perlu dicari solusi agar penggunaannya dapat diminimalisir, didaur ulang menjadi bahan yang berguna dan berdaya jual tinggi, atau juga dihentikan.

*Foamed Polystyrene* begitu banyak dimanfaatkan dalam kehidupan, tetapi tidak dapat mudah di-*recycle* sehingga pengolahan limbahnya harus dilakukan secara benar agar tidak merugikan lingkungan. Pemanfaatan polistirena bekas untuk bahan aditif pembuatan aspal *polimer* merupakan salah satu cara meminimalisir limbah tersebut.

### 2.3.1 Material Styrofoam

*Expanded Polystyrene* dikenal sebagai gabus putih yang biasa digunakan untuk membungkus barang elektronik. Pembuatan *Styrofoam* dilakukan melalui proses pembusaan dengan cara gelembung gas dihantarkan ke dalam stiren cair dengan reaksi kimia, yaitu dengan memanaskan cairan yang mudah menguap atau dengan memasukkan gas dengan cara menekan. Jika Polistirena dibentuk menjadi granular *Styrofoam* maka berat satuannya menjadi sangat kecil yaitu hanya berkisar antara 13 – 16 kg/m<sup>3</sup>. Bila ditinjau dari susunan kimianya, *Styrofoam* termasuk ke dalam jenis plastik atau polimer. Bahan ini memiliki kandungan monomer, antara lain stirena, benzene dan formalin yang diketahui dapat memberi sejumlah dampak negatif bagi kesehatan tubuh. Kandungan stirena, misalnya, dapat mengurangi produksi sel darah merah yang sangat dibutuhkan tubuh untuk mengangkut sari pati makanan dan oksigen ke seluruh tubuh. Akibatnya, fungsi saraf seseorang bisa terganggu, sehingga ia akan mengalami kelelahan, gelisah, dan susah tidur. Stirena juga bisa memengaruhi kondisi janin melalui plasenta ibu dan berpotensi mencemari ASI.

### 2.3.2 Bahaya Styrofoam bagi Lingkungan

Penggunaan *Styrofoam* tak ramah bagi lingkungan, karena tidak bisa diuraikan oleh alam, *Styrofoam* akan menumpuk begitu saja dan mencemari lingkungan. *Styrofoam* yang terbawa ke laut, akan dapat merusak ekosistem dan biota laut. Beberapa perusahaan memang mendaur ulang *Styrofoam*. Namun sebenarnya, yang dilakukan hanya menghancurkan *Styrofoam* lama, membentuknya menjadi *Styrofoam* baru dan menggunakannya kembali menjadi wadah makanan dan minuman yang baru lagi.

Proses pembuatan *Styrofoam* juga bisa mencemari lingkungan. Data EPA (*Environmental Protection Agency*) di tahun 1986 menyebutkan, limbah berbahaya yang dihasilkan dari proses pembuatan styrofoam sangat banyak. Hal itu menyebabkan EPA mengategorikan proses pembuatan *Styrofoam* sebagai penghasil limbah berbahaya ke-5 terbesar di dunia. Selain itu, proses pembuatan *Styrofoam* menimbulkan bau yang tak sedap dan melepaskan 57 zat berbahaya ke udara.

Dengan penggunaan yang masif, *Styrofoam* menimbulkan timbunan sampah yang menggunung. Secara alamiah, *Styrofoam* baru bisa terurai dalam jangka waktu 500 tahun. Sehingga dengan memanfaatkan kondisi yang ada, *Styrofoam* dapat juga digunakan sebagai campuran pada aspal, *Styrofoam* memiliki kekuatan tarik sehingga dapat bekerja sebagai serat yang dapat meningkatkan kemampuan kekuatan khususnya elastisitas aspal.

### 2.3.3 Jenis-Jenis *Styrofoam*

Jenis *Polystyrene* dapat dilihat pada Gambar 2.1. Butiran resin *Polystyrene* atau yang dikenal sebagai *Expanded Styrofoam* (EPS) (Gambar 2.1.a) diresapi oleh bahan pengembang (*Blowing Agent*). Produksi *Expanded Styrofoam* dimulai dari proses pengembangan, dimana butiran EPS akan mengembang setelah dipanaskan oleh uap dan proses molding (percetakan), kemudian butiran yang sudah melalui proses pengembangan tersebut akan dipanaskan lagi oleh steam supaya lebih mengembang lagi dan meyatukan masing-masing butirannya, dan membentuk produk busa yang diinginkan seperti *Foamed*

**Gambar 2.1 Jenis *Polystyrene***



**(a) *Expanded Styrofoam***



**(b) *Foamed Styrofoam***

#### **2.3.4 Penggunaan Styrofoam Sebagai Bahan Campuran Dalam Aspal**

Saleh (2014) melakukan penelitian mengenai penambahan limbah *Styrofoam* untuk meningkatkan kualitas aspal sebagai pengikat 3 beton aspal. Gradasi yang digunakan adalah gradasi terbuka dengan variasi kadar *Styrofoam* 5%, 7%, dan 9% menggunakan standar Australian Asphalt Pavement Association 1997. Hasil penelitian diperoleh KAO 5,76% dengan kadar aspal terbaik 6,26% untuk kadar *Styrofoam* 9%. Asaryanti (2016) melakukan penelitian mengenai penambahan limbah *Styrofoam* dengan variasi 0%, 2%, 4%, dan 6% terhadap campuran AC-WC. Pengujian menggunakan uji Marshall dan penentuan spesifikasi berdasarkan Bina Marga 2010 revisi 3. Nilai KAO yang didapat adalah 6% dengan semua hasil memenuhi syarat untuk setiap kadar *Styrofoam*. Soandrijanie (2011) melakukan penelitian mengenai pengaruh *Styrofoam* terhadap stabilitas dan nilai Marshall beton aspal. Kadar *Styrofoam* yang digunakan adalah 0%, 0,01%, 0,015%, 0,02%, 0,025% dan kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7% untuk mengetahui karakteristik Marshall berdasarkan spesifikasi Bina Marga 1987. Hasil penelitian menunjukkan nilai kadar aspal optimal 6% dan yang memenuhi syarat adalah komposisi *Styrofoam* 0,01% dengan kadar aspal 5%.