

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan merupakan lapis tambahan yang terletak diantara tanah dan roda kendaraan atau lapis paling atas dari badan jalan. Sukirman (2010), menjelaskan bahwa sejarah perkerasan jalan sudah dimulai bersamaan dengan sejarah umat manusia yang selalu berhasrat untuk memenuhi kebutuhan hidup dan saling berkomunikasi dengan sesama. Sedangkan untuk perkerasan jalan yang menggunakan aspal ditemukan pertama kali di Babylon pada 625 tahun sebelum Masehi. Perkerasan jalan ini terus berkembang seiring dengan kemajuan teknologi yang ditemukan umat manusia.

Fungsi utama dari perkerasan sendiri adalah untuk menyebarkan atau mendistribusikan beban roda ke area permukaan tanah-dasar (*sub-grade*) yang lebih luas dibandingkan luas kontak roda dengan perkerasan, sehingga mereduksi tegangan maksimum yang terjadi pada tanah-dasar. Perkerasan harus memiliki kekuatan dalam menopang beban lalu-lintas. Permukaan pada perkerasan haruslah rata tetapi harus mempunyai kekasatan atau tahanan gelincir di permukaan perkerasan. Perkerasan dibuat dari berbagai pertimbangan, seperti: persyaratan struktur, ekonomis, keawetan, kemudahan, dan pengalaman (Christiady, 2011).

Perkembangan konstruksi perkerasan jalan menggunakan aspal panas (*hot mix*) mulai berkembang di Indonesia pada tahun 1975,

kemudian disusul dengan jenis lain seperti aspal beton (AC) dan lain-lain (Alamsyah, 2003).

Menurut Sukirman (2010), konstruksi perkerasan jalan dilihat dari bahan pengikatnya dibedakan atas:

1. Konstruksi Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)

Perkerasan lentur merupakan jenis perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikatnya. Konstruksi perkerasan lentur terdiri dari 5 lapisan yaitu lapisan perkerasan, lapis pengikat, lapisan pondasi atas, lapisan pondasi bawah dan lapisan tanah dasar. Setiap lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar.

2. Konstruksi Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

Perkerasan kaku yaitu perkerasan yang menggunakan sebagai bahan pengikatnya. Pelat beton dengan atau tanpa tulangan diletakan diatas tanah dasar diatas tanah dasar dengan atau tanpa lapis pondasi bawah. Selanjutnya beban lalu lintas akan dipikul oleh pelat beton tersebut.

3. Konstruksi Perkerasan Komposit (*Composite Pavement*)

Perkerasan komposit yaitu perkerasan kaku yang dikombinasikan dengan perkerasan lentur, dapat berupa perkerasan lentur diatas perkerasan kaku atau sebaliknya perkerasan kaku diatas perkerasan lentur.

B. Lapisan Aspal

Berdasarkan Spesifikasi Perkerasan Aspal yang dikeluarkan oleh Dirjen Bina Marga tahun 2016 jenis-jenis campuran beraspal terdiri dari:

1. Lapis Tipis Aspal Pasir (*Sand Sheet, SS*) Kelas A dan B

Lapis Tipis Aspal Pasir (Latasir) yang selanjutnya disebut SS, terdiri dari dua jenis campuran, SS-A dan SS-B. Pemilihan SS-A dan SS-B tergantung pada tebal nominal minimum. Latasir biasanya memerlukan penambahan *filler* agar memenuhi kebutuhan sifat-sifat yang disyaratkan.

2. Lapis Tipis Aspal Beton

Lapis Tipis Aspal Beton (Lataston) yang selanjutnya disebut HRS, terdiri dari dua jenis campuran, HRS Pondasi (*HRS-Base*) dan HRS Lapisan Aus (*HRS Wearing Course, HRS-WC*) dan ukuran maksimum agregat masing-masing campuran adalah 19mm. HRS-Base mempunyai proporsi fraksi agregat kasar lebih besar daripada HRS-WC.

3. Lapis Aspal Beton

Lapis Aspal Beton (Laston) yang selanjutnya disebut AC, terdiri dari tiga jenis campuran, AC Lapis Aus (*AC-WC*), AC Lapis Antara (*AC-Binder Course, AC-BC*) dan AC Lapis Pondasi (*AC-Base*) dan ukuran maksimum agregat masing-masing campuran adalah 19 mm, 25,4 mm, 37,5 mm. Setiap jenis campuran AC yang menggunakan bahan Aspal Polimer atau Aspal dimodifikasi dengan Aspal Alam disebut

masing-masing sebagai *AC-WC Modified*, *AC-BC Modified*, dan *AC-Base Modified*

Adapun untuk tebal dari masing-masing jenis lapisan telah ditentukan oleh Direktorat Jendral Bina Marga dalam Spesifikasi Perkerasan Aspal 2016 dan tercantum pada Tabel berikut:

Tabel 1. Spesifikasi Lapisan Aspal Beton Menurut Bina Marga 2016

Jenis campuran		Simbol	Tebal Nominal Minimum (cm)
Latasir Kelas A		SS-A	1,5
Latasir Kelas B		SS-B	2,0
Lataston	Lapisan Aus	HRS-WC	3,0
	Lapisan Pondasi	HRS-Base	3,5
Laston	Lapisan Aus	AC-WC	4,0
	Lapisan Antara	AC-BC	6,0
	Lapisan Pondasi	AC-Base	7,5

(Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2016 divisi 6 Tabel 6.3.1)

Menurut Sukirman (2010), aspal beton campuran merupakan salah satu jenis dari lapisan perkerasan konstruksi perkerasan jalan lentur. Jenis perkerasan ini merupakan campuran merata antara agregat dan aspal sebagai bahan pengikat perkerasan pada suhu tertentu. Suatu campuran aspal beton harus memiliki karakteristik campuran yang baik. Karakteristik tersebut meliputi: stabilitas, durabilitas, fleksibilitas, tahanan geser, kedap air, kemudahan pekerjaan dan ketahanan terhadap kelelahan.

C. Bahan Penyusun Aspal *Porus*

Selain menggunakan modifikasi polimer, ada juga modifikasi lain yang disebut dengan Aspal *Porus*. Aspal *porus* adalah campuran beraspal yang didesain mempunyai porositas lebih tinggi dibandingkan jenis

perkerasan jalan yang lain, sifat *porus* karena campuran aspal *porus* menggunakan proporsi lebih sedikit dibandingkan campuran jenis lain (Djumari & Sarwono, 2009). Aspal *porus* pada umumnya memiliki stabilitas Marshall yang kurang dari 500 kg, lebih rendah dari aspal beton yang memiliki stabilitas minimum 800 kg. Menurut *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA) spesifikasi nilai stabilitas marshall akan meningkat bila dalam gradasi terbuka yang digunakan lebih banyak fraksi halus (Carbera & Hamzah, 1994). Aspal *porus* memiliki gradasi dengan agregat tertentu yang didesain setelah dipadatkan mempunyai rongga udara sekitar 20% (Khalid & Jimenes, 1994). Aspal *porus* harus diletakkan di lapisan permukaan jalan sebagai lapisan yang bersifat nonstruktural dan diatas lapis pondasi yang kedap air.

Rongga udara yang ada dalam campuran aspal *porus* sengaja direncanakan dengan memakai agregat bergradasi terbuka dan didominasi oleh agregat kasar sebanyak 80%-85% dari total campuran, sehingga dengan dominasi agregat kasar yang ukurannya cenderung seragam maka akan terbentuk rongga udara yang tidak terisi oleh agregat halus maupun aspal dan akan membentuk rongga udara. Rongga udara ini menjadikan aspal *porus* dapat mengalirkan air yang dapat berfungsi sebagai saluran drainase dalam campuran. Porositas campuran aspal *porus* berkisar antara 18%-25%.

Menurut Setyawan dan Sanusi (2008), campuran aspal *porus* merupakan generasi baru dalam perkerasan lentur, yang membolehkan air meresap ke dalam lapisan atas (*wearing course*) secara vertikal dan

horizontal. Gradasi terbuka pada lapisan ini dihamparkan di atas lapisan aspal yang kedap air. Lapisan aspal *porus* dapat secara efektif memberikan tingkat keselamatan yang lebih, terutama di waktu hujan agar tidak terjadi *aquaplaning* sehingga menghasilkan kekasatan permukaan yang lebih kasar, dan dapat mengurangi kebisingan (noise reduction).

Tekstur permukaan aspal *porus* yang cenderung kasar dan kesat sehingga dapat mengurangi resiko kecelakaan, dimana aspal *porus* dapat mengalirkan air pada saat hujan sehingga tidak ada genangan air pada permukaan.

Bahan penyusun aspal *porus* sendiri terdiri dari agregat kasar, agregat kasar, dan aspal. Berbeda dengan lapisan aspal beton (laston) aspal *porus* tidak menggunakan *filler* dalam susunan agregatnya, hal ini dimaksudkan agar rongga yang terdapat pada aspal *porus* tidak terisi oleh *filler*.

1. Agregat

Agregat adalah sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir, atau mineral lainnya baik berupa hasil alam ataupun buatan (SNI 03-1737-1989). Sedangkan menurut ASTM tahun 1974 (dalam Sukirman 2010), Agregat didefinisikan sebagai suatu bahan yang terdiri dari mineral padat berupa masa berukuran besar ataupun berupa fragmen-fragmen. Agregat adalah komponen utama dalam lapisan perkerasan jalan yaitu 90-95% agregat berdasarkan presentase berat atau 75-85% agregat berdasarkan presentase volume. Dengan demikian daya

dukung, keawetan, dan mutu perkerasan jalan dapat ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain.

Agregat diklasifikasikan menjadi 2 yaitu berdasarkan sumber didapatnya bahan dan berdasarkan dimensi butiran. Berdasarkan sumber didapatkan bahan, agregat terdiri dari agregat alam yang diperoleh secara alamiah seperti pasir dan kerikil serta agregat buatan yang didapat dari proses pemecahan batu (Saodang, 2005). Berikut adalah macam-macam dari agregat berdasarkan dimensi butiran:

a. Agregat Kasar

Menurut Saodang (2005), ukuran butiran agregat kasar adalah $> \frac{1}{4}$ inci (6,35 mm) yaitu bahan atau batuan yang tertahan pada saringan no. 4. Agregat kasar juga merupakan batuan yang memiliki dimensi ukuran antara 4,8 mm sampai 150 mm yang berasal dari batuan alami maupun batuan pecah.

Agregat kasar membuat permukaan perkerasan menjadi lebih stabil dan kesat sehingga mempunyai sifat *skid resistance* (tahan terhadap selip) yang tinggi sehingga menjamin keselamatan saat berkendara.

Dalam campuran aspal *porus* agregat kasar yang digunakan cenderung lebih banyak dibanding campuran aspal laston, dimana pada campuran aspal *porus* presentase agregat kasar terhadap berat yang digunakan, ditetapkan lebih dari 80%. Campuran aspal *porus* yang sedemikian rupa, dimaksudkan agar campuran aspal *porus*

dapat membentuk rongga-rongga yang dapat digunakan untuk mengalirkan air ke drainase maupun untuk meningkatkan kekasatan sehingga jalan tidak licin. Berikut adalah ketentuan dari agregat kasar menurut Spesifikasi Bina Marga 2016:

Tabel 2. Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian			Standar	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	Natrium sulfat		SNI 3407:2008	Maks. 12%
	Magnesium sulfat			Maks. 18%
Abrasi dengan mesin Los Angles	Campuran AC Modifikasi	100 putaran	SNI 2417:2008	Maks. 6%
		500 putaran		Maks. 30%
	Campuran aspal bergradasi lainnya	100 putaran		Maks. 8%
		500 putaran		Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal			SNI 2439:2011	Min. 95%
Butir Pecah pada Agregat Kasar			SNI 7619:2012	95/90 ^{*)}
Partikel Pipih dan Lonjong			ASTM D4791 Perbandingan 1:5	Maks. 10%
Material lolos ayakan No.200			SNI 03-4142-1996	Maks. 2%

(Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2016 Divisi 6 Tabel 6.3.2)

b. Agregat Halus

Menurut Bina Marga (2016), agregat halus dari sumber bahan manapun, harus terdiri dari pasir atau hasil pengayakan batu pecah dan terdiri dari bahan yang lolos ayakan No.4 (4,75 mm). Sedangkan menurut Saodang (2005), agregat berbutir halus adalah

bahan yang lewat saringan No.4 dan tertahan saringan No.200, biasanya berupa pasir murni hasil *screening* dari mesin pemecah batu atau kombinasi dari keduanya.

Agrgat halus pada umumnya dipakai untuk mengisi rongga antara agregat kasar pada suatu campuran aspal, sehingga campuran mendapatkan kualitas yang baik. Namun pada campuran aspal *porus* agregat halus tidak digunakan untuk mengisi rongga antara agregat kasar, melainkan digunakan untuk pembantu pelek aspal dengan agregat kasar.

Campuran aspal *porus* memakai presentase penggunaan agregat halus yang berbeda dengan campuran aspal biasa, campuran aspal *porus* menggunakan presentase agregat halus antara 5-15% terhadap berat. Berikut merupakan ketentuan dari agregat halus menurut spesifikasi Bina Marga 2016:

Tabel 3. Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 60%
Angularitas dengan Uji Kadar Rongga	SNI 03-6877-2002	Min. 45%
Gumpalan Lempung dan Butir-butir Mudah Pecah dalam Agregat	SNI 03-4141-1996	Min. 1%
Agregat Lolos Ayakan No.200	SNI ASTM C117: 2012	Maks. 10%

(Sumber : Spesifikasi umum Bina Marga 2016 divisi 6 Tabel 6.3.2)

2. Aspal

Aspal merupakan material yang umum digunakan untuk bahan pengikat agregat untuk perkerasan jalan oleh karena itu bitumen

seringkali disebut juga sebagai aspal. Aspal adalah material yang pada temperatur ruang berbentuk padat dan bersifat termoplastis. Aspal akan mencair jika dipanaskan sampai dengan temperatur tertentu, dan kembali membeku jika temperatur turun. Bersama dengan agregat, aspal merupakan material pembentuk campuran perkerasan jalan (Sukirman, 2010)

Sebagai salah satu material konstruksi perkerasan lentur, aspal merupakan salah satu komponen kecil, umumnya hanya 4-10% berdasarkan berat, atau 5-15% berdasarkan volume campuran perkerasan jalan.

Aspal adalah bahan yang bertitik lebur di atas 110°C . Asal dari aspal kemungkinan dari metamorfose minyak bumi. Aspal merupakan semi solid dari *famili hidrokarbon*. Adapun variasi aspal yaitu *gilsonite*, yaitu aspal alam murni yang berwarna hitam terdapat sebagai *vein*, variasi lain yaitu *wurtzilite* yaitu aspal yang berwarna hitam yang terbentuknya juga pada *vein* dan *grahanite*.

Aspal sebagai bahan galian atau hasil tambang jelas perlu diselidiki dimana kira-kira endapan yang mengandung aspal itu terdapat. Oleh karena itu perlu diadakannya penyelidikan. Adapun cara penyelidikan secara geologi pemboran, pembuatan sumur eksplorasi, eksplorasi geofisik secara seismik dan elektrik (Sanusi, 1984) dengan demikian yang menyebabkan harga aspal cukup mahal.

Menurut Saodang (2005), aspal adalah bahan alam dengan komponen kimia utama hidrokarbon, hasil explorasi dengan warna hitam bersifat plastis hingga cair, tidak larut dalam larutan asam encer dan alkali atau air tapi larut sebagian besar dalam *aether*, CS_2 , bensol, dan *chloroform*. Aspal dalam istilah baku *asphaltic bitumen* terdiri dari unsur *carbon* (C) sebagai komponen utama $\pm 80\%$ dalam keadaan *kolloid* disebut *asphaltene* bercampur dalam cairan yang disebut *maltene*. *Hidrogen* (H) $\pm 10\%$ sisanya unsur *sulfur* (S), membentuk berbagai persenyawaan *hidrokarbon*. Dalam Saodang (2005) berdasarkan cara diperolehnya aspal dapat diklasifikasikan menjadi 2 yaitu aspal minyak dan aspal buatan.

a. Aspal Minyak (*Petroleum Asphalt*)

Aspal minyak berbentuk padat atau semi padat sebagai cikal bakal *bitumen* yang diperoleh dari penirisan minyak. Aspal minyak dibedakan menjadi 3 yaitu:

1) Aspal Keras-panas (*Asphaltic-Cement, AC*)

Aspal Keras-panas terbentuk padat pada temperatur ruangan. Di Indonesia aspal semen (AC) dibedakan dari nilai penetrasinya, misal : AC dengan penetrasi 40/50, 60/70, 85/100. Aspal dengan penetrasi rendah digunakan pada daerah dengan cuaca panas atau pada lalu lintas dengan volume tinggi, sedangkan aspal dengan penetrasi tinggi digunakan pada daerah dengan cuaca dingin atau lalu lintas dengan volume rendah.

2) Aspal Dingin-cair (*Cut-black Asphalt*)

Aspal Dingin-cair digunakan dalam keadaan cair dan dingin.

Aspal dingin adalah campuran pabrik antara aspal panas dengan bahan pengencer dari hasil penyulingan minyak bumi. Berdasarkan bahan pengencer dan kemudahan menguap bahan pelarutnya, aspal dingin dibedakan menjadi:

A) RC (*Rapid Curing*) : Bahan pengencer bensin dengan RC₀ sampai RC₅

B) MC (*Medium Curing*) : Bahan pengencer minyak tanah (*kerosone*) dengan MC₀ sampai MC₅

C) SC (*Slow Curing*) : Bahan pengencer solar dengan SC₀ sampai SC₅

3) Aspal Emulasi (*Emulsion Asphalt*)

Aspal Emulasi disediakan dalam bentuk emulsi, dapat digunakan dalam keadaan dingin

A) *Kationik* (Aspal emulsi asam) : Emulsi bermuatan arus listrik positif.

B) *Anionik* (Aspal emulsi alkali) : Emulsi bermuatan arus listrik negatif.

b. Aspal Batu Buton

Aspal batu buton merupakan aspal alam yang terbentuk karena minyak bumi yang mengalir keluar melalui retakan kulit bumi. Setelah minyak menguap maka tinggal aspal yang melekat pada

batuan yang dilalui. Kadar aspal pada Aspal Batu Buton berkisar antara 10% : 25%. Sebagai bahan pelunak biasanya digunakan *flux oil*, sebanyak 3-4% berat total.

D. Gradasi Agregat

Gradasi berdasarkan ukuran agregat merupakan hal yang penting dalam menentukan stabilitas perkerasan. Gradasi agregat mempengaruhi besarnya rongga antar butir yang akan menentukan stabilitas dan kemudahan dalam proses pelaksanaan. Agregat yang mempunyai ukuran seragam akan menghasilkan pori antar butiran menjadi besar. Sebaliknya jika agregat mempunyai ukuran yang bervariasi akan mempunyai volume pori kecil, dimana butiran kecil mengisi pori diantara butiran besar sehingga pori-porinya menjadi sedikit (Sukirman, 2010). Untuk mengidentifikasi gradasi dari suatu agregat dapat dilakukan pengujian analisis saringan sesuai dengan SNI 03-1968-1990, atau menurut AASTHO T27-82/T11-82. Dimana dalam pengujian analisis agregat diperoleh presentase dari asing-masing fraksi penyusun agregat.

Gradasi agregat diperoleh dari hasil analisis saringan dengan menggunakan 1 set saringan dimana saringan paling besar diletakkan di atas dan yang paling kecil diletakkan di bawah (Sukirman, 2010). Berikut adalah ukuran butir agregat menurut AASTHO T27-88 atau SNI 03-1968-2002

Tabel 4. Ukuran butir agregat

Ukuran saringan	Bukaan (mm)	Ukuran saringan	Bukaan (mm)
4 inch	100	3/8 inch	9,5

Ukuran saringan	Bukaan (mm)	Ukuran saringan	Bukaan (mm)
3 ½ inch	90	No. 4	4,75
3 inch	75	No. 8	2,36
2 ½ inch	63	No. 16	1,18
2 inch	50	No. 30	0,6
1 ½ inch	37,5	No. 50	0,3
1 inch	25	No. 100	0,15
¾ inch	19	No. 200	0,075
½ inch	12,5		

(Sumber: Perkerasan Lentur Jalan Raya, Sukirman, 2010)

Menurut Sukirman (2010), gradasi agregat dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu:

1. Gradasi Buruk (poorly graded)

Gradasi buruk merupakan gradasi dengan salah satu atau lebih fraksi penyusun agregat hilang sehingga memuat susunan fraksi agregat tidak lengkap. Campuran yang menggunakan gradasi buruk akan memiliki sifat rapat dibeberapa bagiannya, namun menimbulkan rongga di bagian lainnya. Menurut Saodang (2005), gradasi yang jelek mengakibatkan kepadatan rendah dan stabilitas kecil karena kondisi susunan kontak antar butir agregat yang buruk.

2. Gradasi Seragam (uniform graded)

Gradasi seragam merupakan gradasi agregat yang mempunyai ukuran hampir sejenis atau mengandung agregat halus yang cukup sedikit sehingga tidak dapat mengisi rongga antar agregat. Gradasi seragam dari komposisi butiran akan menghasilkan suatu kepadatan

yang bervariasi akibat kontak butir sebagian. Gradasi ini sangat ideal sebagai penyusun campuran aspal *porus*.

3. Gradasi Rapat (dense graded)

Gradasi rapat merupakan gradasi yang sempurna karena komposisi antar agregat butiran kecil dan butiran besar berada pada presentase yang berimbang atau agregat penyusunnya lengkap dari yang terkecil hingga terbesar. Agregat gradasi baik akan memberikan suatu keadaan kepadatan dan stabilitas yang baik akibat kontak butir yang hampir menyeluruh pada bidang permukaan, kurang kedap air, sifat drainase jelek, dan berat volume besar.

Tabel 5. Amplop Gradasi Agregat Gabungan untuk Campuran Aspal

Ukuran Ayakan		% Berat yang Lolos Laston (AC)		
(inch)	(mm)	WC	BC	Base
1½	37,5	-	-	100
1	25	-	100	90-100
¾	19	100	90-100	79-90
½	12,5	90-100	75-90	60-78
3/8	9,5	77-90	66-82	52-71
No. 4	4,75	53-69	46-64	35-54
No. 8	2,36	33-53	30-49	23-41
No. 16	1,18	21-40	18-38	13-30
No. 30	0,6	14-30	12-28	10-22
No. 50	0,3	9-22	7-20	6-15
No. 100	0,15	6-15	5-13	4-10
No. 200	0,075	4-9	4-8	3-7

(Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2016 Divisi 6 Tabel 6.3.2)

E. Bahan Plastik PE (Polyethylene)

Polyethylene adalah polimer yang tersusun atas monomer etana, memiliki sifat yang dapat melunak jika terkena panas, namun tidak sekuat *polypropylene*. Pada kegunaannya *polyethylene* biasa digunakan sebagai untuk film, kantong plastik, dan botol plastik. *Polyethylene* (PE) atau (IUPAC Polietilena) merupakan termoplastik yang telah secara luas digunakan oleh konsumen produk sebagai kantong plastik.

Sifat mekanis dari polietilena tergantung dari tipe percabangan, struktur kristal serta berat molekulnya. Berdasarkan kepadatan dan percabangan molekulnya polietilena yang biasa digunakan oleh masyarakat luas adalah HDPE (*High Density Polyethylene*), LDPE (*Low Density Polyethylene*), LLDPE (*Linear Low Density Polyethylene*), VLDPE (*Very Low Density Polyethylene*).

Berdasarkan massa molekul dan kristalinitas, titik leleh dan transisi gelas maka sulit melihat sifat fisik polietilena. Hal itu karena temperatur dari titik tersebut sangat bervariasi tergantung dari tipe polietilenanya. Dalam tingkat komersil, polietilena berdensitas menengah dan tinggi, titik lelehnya sekitar 120^o C sampai 135^o C. Sedangkan titik leleh polietilena berdensitas rendah titik lelehnya sekitar 105^o C sampai 115^o C.

Menurut Hartono (1998) komposisi sampah atau limbah plastik yang dibuang oleh setiap rumah tangga adalah 9,3% dari total sampah rumah tangga. Di Indonesia rata-rata setiap pabrik menghasilkan satu ton atau lebih limbah plastik setiap minggunya. Jumlah tersebut dapat terus

bertambah dikarenakan sifat-difat yang dimiliki plastik yaitu tidak dapat membusuk, membutuhkan waktu yang sangat lama agar terurai secara alami, tidak dapat menyerap air dan tidak dapat berkarat yang akan menjadi masalah bagi lingkungan. Plastik juga merupakan bahan anorganik buatan yang tersusun dari bahan-bahan kimia yang cukup berbahaya bagi lingkungan. Limbah plastik ini sangatlah sulit diuraikan secara alami. Dampak yang diakibatkan oleh sampah plastik ini sangat banyak, antara lain: tercemarnya tanah, air tanah, dan makhluk di dalam tanah. Racun-racun dari partikel plastik yang masuk ke dalam tanah akan membunuh hewan pengurai seperti cacing. Plastik akan mengganggu jalur air dan menghalangi sirkulasi udara dalam tanah. Sampah plastik ini menyumbat aliran sungai sehingga di musim kemarau sering terjadi banjir yang berasal dari luapan air sungai. Plastik merupakan bahan *anorganik* buatan yang tersusun dari bahan-bahan yang cukup berbahaya bagi lingkungan (Arcana, 2009)

Dampak penggunaan plastik dalam hal ini polietilena yang telah meluas ternyata sangat buruk bagi lingkungan. Menurut Menteri Kelautan dan Perikanan Susi Pudjiastuti pada Tribunnews (2018), Indonesia merupakan penyumbang sampah plastik terbesar kedua di dunia yang dibuang ke laut, berdasarkan data yang diperoleh dari Asosiasi Industri Plastik Indonesia (INAPLAS) dan Badan Pusat Statistik (BPS), sampah plastik di Indonesia mencapai 64 juta ton per tahun. Dimana 3,2 juta ton merupakan sampah plastik yang dibuang ke laut, adapun sampah berupa

kantong plastik yang terbuang ke daratan sekitar 10 miliar lembar per tahun atau 85 ribu ton kantong plastik per tahun.

Penggunaan plastik yang tidak bijak dan pengelolaan dari sampah plastik yang tidak baik berakibat fatal bagi kelangsungan hidup makhluk hidup. Dengan sifatnya yang sulit terurai polietilena dalam hal ini plastik membutuhkan waktu paling tidak antara 20-1.000 tahun untuk terurai secara alami.

F. Metode Pengujian Marshall

Untuk mengetahui kualitas dari campuran aspal beton maka dilakukan pengujian campuran aspal beton menggunakan *Marshall Test*. Pengujian dengan menggunakan *Marshall Test* pertama kali dilakukan oleh Bruce Marshall dan dikembangkan oleh U.S Corps of Engineer. Dalam pengujian *marshall* menggunakan prosedur PC-0201-76, AASHTO T 245-74 atau ASTM D 1559-62 T.

Marshall Test merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan *proving ring* (cincin penguji) yang berkapasitas 2500 kg atau 5000 pon. *Proving ring* dilengkapi dengan arloji kelelehan (*flow meter*) berfungsi untuk mengukur kelelehan plastis (*flow*). Dalam pengujian dengan metode marshall akan diperoleh data-data sebagai berikut:

1. Stabilitas yang dinyatakan dalam bilangan bulat. Stabilitas menunjukan kekuatan dan ketahanan terhadap terjadinya alur (*ruting*).
2. Kelelehan plastis (*flow*) yang dinyatakan dalam mm atau 0,01 inch.
Flow dapat digunakan sebagai indikator terhadap lentur.

3. VIM yang merupakan persen rongga dalam campuran dan dinyatakan dalam bilangan desimal satu angka belakang koma.
4. VMA yang merupakan persen rongga terhadap agregat dan dinyatakan dalam bilangan bulat. VMA dan VIM merupakan indikator durabilitas.

Berikut adalah rumus-rumus yang digunakan untuk mencari nilai dari karakteristik marshall:

1. Berat Jenis *Bulk* dari Total Agregat

Masing- masing fraksi dari agregat (agregat kasar dan agregat halus) mempunyai nilai berat jenis *bulk* sendiri-sendiri. Berikut adalah rumus untuk mencari berat jenis *bulk* dari total agregat:

$$G_{sb\text{total}} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots P_n}{\frac{P_1}{G_{sb1}} + \frac{P_2}{G_{sb2}} + \frac{P_3}{G_{sb3}} + \dots \frac{P_n}{G_{sb\ n}}}$$

Keterangan :

$G_{sb\text{total}}$: Berat jenis *bulk* agregat gabungan, (gr/cc)

P_1, P_2, P_3 : Persentase berat dari masing-masing agregat, (%)

$G_{sb1}, G_{sb2}, G_{sb3}$: Berat jenis *bulk* masing-masing agregat, (gr/cc)

2. Berat Jenis Semu Total Agregat

Masing-masing agregat penyusun campuran aspal beton memiliki nilai berat jenis semu masing-masing, sehingga perlu untuk mencari nilai penggabungan berat jenis semu gabungan dari agregat maka digunakan rumus sebagai berikut:

$$G_{sa\text{total}} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots P_n}{\frac{P_1}{G_{sa1}} + \frac{P_2}{G_{sa2}} + \frac{P_3}{G_{sa3}} + \dots \frac{P_n}{G_{sa\ n}}}$$

Keterangan:

Gsbtotal : Berat jenis semu agregat gabungan, (gr/cc)

P1, P2, P3 : Persentase berat dari masing-masing agregat, (%)

Gsa1, Gsa2, Gsa3 : Berat jenis semu masing-masing agregat, (gr/cc)

3. Berat Jenis Efektif Agregat

Berat jenis efektif agregat merupakan rerata dari berat jenis total dan berat jenis semu total agregat, adapun rumus yang digunakan adalah:

$$Gse = \frac{Gsb + Gsa}{2}$$

Keterangan:

Gse : Berat jenis efektif total agregat, (gr/cc)

Gsb : Berat jenis *bulk* agregat, (gr/cc)

Gsa : Berat jenis semu agregat, (gr/cc)

4. Berat Jenis Maksimal Agregat

Berat jenis maksimal agregat merupakan berat jenis campuran yang dicari dari presentase dan berat jenis masing-masing material, adapun rumus yang digunakan sebagai berikut:

$$Gmm = \frac{Pmm}{\frac{Ps}{Gse} + \frac{Pb}{Gb}}$$

Keterangan:

Gmm : Berat jenis maksimum campuran, (gr/cc)

Pmm : Persentase berat total campuran, (100%)

Ps : Persentase kadar agregat terhadap berat total campuran, (%)

Pb : Persentase kadar aspal terhadap berat total campuran, (%)

Gse : Berat jenis efektif, (gr/cc)

Gb : Berat jenis aspal, (gr/cc)

5. Berat Jenis *Bulk* Campuran

Berat jenis *bulk* baik dicari dari perbandingan antara berat campuran dan volume campuran, adapun rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$G_{mb} = \frac{W_a}{V_{bulk}}$$

Keterangan:

Gmb : Berat jenis campuran setelah dipadatkan, (gr/cc)

V_{bulk} : Volume campuran setelah dipadatkan, (cc)

Wa : Berat di udara (gr)

6. Kepadatan

Kepadatan merupakan nilai yang menunjukkan kepadatan campuran hasil dari perbandingan berat campuran di udara dengan berat campuran dalam keadaan jenuh dan di dalam air. Dapat dihitung dengan rumus:

$$\text{Kepadatan} = \frac{W_m}{W_{mssd} - W_{mpw}}$$

Keterangan:

Wm : Berat benda uji setelah dipadatkan, (gr)

Wmssd : Berat benda uji dalam keadaan jenuh setelah dipadatkan,
(gr)

Wmpw : Berat benda uji dalam air setelah dipadatkan, (gr)

7. VIM (Void in Mix)

VIM merupakan persentase rongga yang terdapat dalam total campuran. Syarat nilai VIM adalah sekitar 3-5% sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 2016. Nilai VIM dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$VIM = \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \times 100$$

Keterangan:

VIM : Rongga udara pada campuran, (%)

G_{mm} : Berat jenis maksimum campuran setelah dipadatkan,
(gr/cc)

G_{mb} : Berat jenis *bulk* campuran setelah dipadatkan, (gr/cc)

8. VMA (Void Material Agregat)

VMA adalah kadar persentase ruang rongga diantara partikel agregat pada benda uji, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat). Syarat nilai VMA berdasarkan Bina Marga 2016 adalah minimal 14%. Nilai VMA dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$VMA = \frac{100 (G_{sb} - G_{mb}) + G_{mb} \cdot P_b}{G_{sb}}$$

Keterangan:

- VMA : Rongga udara pada mineral agregat, (%)
- Gmb : Berat jenis *bulk* campuran setelah dipadatkan, (gr/cc)
- Gsb : Berat jenis *bulk* dari total agregat, (gr/cc)
- Pb : Persentase kadar aspal terhadap berat total campuran, (%)

9. VFA (Void Filled with Asphalt)

VFA merupakan persentase rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan. Nilai VFA yang disyaratkan adalah minimal 65% sesuai dengan persyaratan Bina Marga 2016. Nilai VFA dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$VFA = \frac{(VMA - VIM)}{VMA} \times 100$$

Keterangan:

- VFA : Persentase rongga udara yang terisi aspal, (%)
- VMA : Persentase rongga udara pada minimal agregat, (%)
- VIM : Persentase rongga udara pada campuran, (%)

10. Stabilitas

Nilai stabilitas benda uji diperoleh dari pembacaan arloji stabilitas pada saat pengujian dengan alat marshall. Selanjutnya dicocokkan dengan angka kalibrasi *proving ring* dengan satuan lbs atau kilogram, dan masih harus dikoreksi dengan faktor koreksi tebal benda uji. Berikut adalah rumus yang digunakan untuk mencari nilai stabilitas:

$$S = p \times q$$

Keterangan:

- S : Nilai stabilitas, (kg)

p : Pembacaan arloji stabilitas x kalibrasai alat

q : Angka koreksi tebal benda uji

Tabel 6. Faktor koreksi stabilitas

Isi benda uji	Tebal benda uji (mm)	Angka koreksi
200 - 213	25,4	5,56
214 - 225	27,0	5,00
226 - 237	28,6	4,55
238 - 250	30,2	4,17
251 - 264	31,8	3,85
265 - 276	33,3	3,57
277 - 289	34,9	3,33
290 - 301	36,5	3,03
302 - 316	38,1	2,78
317 - 328	39,7	2,50
329 - 340	41,3	2,27
341 - 353	42,9	2,08
354 - 367	44,4	1,92
368 - 379	46,0	1,79
380 - 392	47,6	1,67
393 - 405	49,2	1,56
406 - 420	50,8	1,47
421 - 431	52,4	1,39
432 - 443	54,0	1,32
444 - 456	55,6	1,25
457 - 470	57,2	1,19
471 - 482	58,7	1,14
483 - 495	60,3	1,09
496 - 508	61,9	1,04
509 - 522	63,5	1,00
523 - 535	65,1	0,96
536 - 546	66,7	0,93
547 - 559	68,3	0,89
560 - 573	69,9	0,86
574 - 585	71,4	0,83
586 - 598	73,0	0,81
599 - 610	74,6	0,78
611 - 625	76,2	0,76

(Sumber: SNI 06-2489-1991)

11. Kelelehan Plastis (*Flow*)

Flow adalah tingkat kelelehan campuran ketika diuji dalam keadaan suhu ekstrim yaitu 60^o C. dikarenakan tidak tersedianya alat *flowmeter* di laboratorium, maka nilai *flow* ditentukan dari hasil pengurangan diameter rata-rata diameter awal benda uji sebelum pengujian dengan rata-rata diameter benda uji setelah pengujian. Nilai *flow* ditunjukkan dengan satuan milimeter (mm)

12. *Marshall Quotient*

Marshall quotient adalah hasil bagi antara stabilitas dengan *flow*. Nilai *marshall quotient* yang disyaratkan adalah lebih besar dari 250 kg/mm sesuai dengan persyaratan Bina Marga 2016. Nilai dari *marshall quotient* diperoleh dari rumus sebagai berikut:

$$MQ = \frac{S}{F}$$

Keterangan:

MQ : Nilai *Marshall quotient*, (kg/mm)

S : Nilai stabilitas, (kg)

F : Nilai *flow*, (mm)

G. Penelitian yang Relevan

Penelitian yang terkait dengan penelitian ini pernah dilakukan oleh Paramita (2018) dengan judul “Pengaruh Penambahan Plastik PET (Polyethylene Terephthalate) dan *Filler* Limbah Karbit pada Laston (AC-BC) Terhadap Karakteristik Marshall”. Dalam penelitian ini menggunakan KAO sebesar 6% dengan kadar PET 0%, 1%, 1,5%, 2%. Hasil dari

penelitian ini, menunjukan bahwa penambahan PET dan *filler* limbah karbit memengaruhi nilai karakteristik aspal pada pengujian marshall. Nilai VIM, VMA, Stabilitas dan MQ mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar plastik PET, sedangkan VFA dan *flow* semakin menurun. Penambahan paling efektif pada pengujian ini terdapat pada kadar 1% dengan kepadatan sebesar 2,33 gr/cc, nilai VIM sebesar 4,28%, Nilai VMA 14,58%, nilai VFA sebesar 67,18% nilai *flow* 3,30 mm, nilai stabilitas 3060,42 kg dan nilai MQ sebesar 936,79 kg/mm. Secara keseluruhan, penambahan plastik PET dan *filler* limbah karbit terhadap karakteristik memenuhi Standar Bina Marga 2010.

Penelitian kedua dilakukan oleh Ramadhan (2017) dengan judul “Pengaruh Penambahan Limbah Plastik (PET) Terhadap Karakteristik Marshall dan Permeabilitas pada Aspal Berpori”. Dalam penelitian ini menggunakan KAO 4,75% dengan kadar PET yang digunakan sebesar 0,15%, 0,30%, 0,45% dan 0,60%. Hasil penelitian ini telah didapat peningkatan terbaik stabilitas pada kadar 0,30% mengalami peningkatan 7,44% sebesar 594 kg, Marshall Quotient pada kadar 0,30% mengalami peningkatan 61,19%sebesar 274,5 kg/mm, untuk *flow* dan permeabilitas didapat prosentasi terbaik pada KAO tanpa pencampuran PET.

Penelitian ketiga merujuk pada Fitri, dkk (2018) yang berjudul “Pengaruh Penambahan Limbah Plastik Kresek sebagai Subtitusi Aspal Pen 60/70 Terhadap Karakteristik Campuran Laston AC-BC”. Dalam penelitian ini penambahan variasi kantong plastik bekas sebagai aditif

secara berturut-turut yaitu 2%, 4%, 6%, dan 8% pada KAO $\pm 0,5$ dari KAO awal 5,35%. Dari ketiga KAO tersebut diambil nilai yang tertinggi yaitu pada KAO+0,5 sebesar 3,3% untuk pembuatan benda uji pada persentase variasi plastik KPO $\pm 2\%$ dengan mendapatkan nilai Marshall dan durabilitas. Nilai stabilitas terus meningkat pada persentase variasi kadar plastik bekas 1,3%, 3,3% dan 5,3% masing-masing sebesar 1470,48 kg, 1476,28 kg, dan 1489,28 kg dengan rendaman 30 menit (suhu 60°C) dan 1286,42 kg, 1316,35 kg, 1345,41 kg dengan rendaman 24 jam (suhu 60°C). Kondisi ini disebabkan oleh kandungan dalam aditif yang bercampur dengan aspal pen 60/70 di dalam campuran menyebabkan daya lekat aspal dengan agregat menjadi lebih baik hingga mencapai batas nilai tertentu, yaitu pada batas 5,3% dengan nilai stabilitas terbaik yaitu sebesar 1489,28 kg pada rendaman 30 menit dan sebesar 1345,41 kg pada rendaman 24 jam. Dari perbandingan kedua stabilitas tersebut maka diperoleh nilai durabilitas sebesar 99,84% sehingga telah memenuhi spesifikasi untuk campuran yang ditambahkan aditif, yaitu sebesar $\geq 90\%$

Penelitian keempat dilakukan oleh Pratomo, dkk (2016) dengan judul “Aspal Modifikasi dengan Penambahan Plastik *Low Linear Density Polyethylene* (LLDPE) Ditinjau dari Karakteristik *Marshall* dan Uji Penetrasi pada Lapisan Aspal Beton (AC-BC)”. Dari hasil analisa didapatkan nilai kadar aspal optimum yang memenuhi keenam syarat kriteria campuran aspal sesuai spesifikasi Bina Marga 2010 revisi III yaitu 6,5 %. Setelah itu dilanjutkan proses variasi dengan penambahan plastik

low linear density polyethylene (LLDPE) dengan kadar persen 1 %, 3 %, 5 %, 7 %, 9% dihitung dari berat aspal. Dari proses analisa hasil pengujian, pada nilai stabilitas semakin bertambahnya kadar LLDPE semakin bertambah nilai stabilitasnya. Akan tetapi pa nilai VIM tidak ada yang memenuhi standar Spesifikasi Bina Marga 2010 revisi III. Pada Nilai penetrasi aspal yang paling sedikit mengalami penurunan yaitu pada kadar 9%.

Penelitian terakhir yaitu dilakukan oleh Ghulam, dkk (2017) dengan judul “ Nilai Stabilitas *Porous Asphalt* menggunakan Material Lokal”. Dengan kadar aspal variasi 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, 6% menghasilkan kadar aspal optimum 5,0 % pada campuran asphalt porous. Stabilitas asphalt porous dari lima variasi kadar aspal rata-rata yaitu 1.123,61 kg. Untuk nilai rata-rata VIM pada lima variasi kadar aspal yaitu 23,22 %. Nilai rata-rata *flow* pada lima variasi kadar aspal 4,68 mm. Dan untuk nilai *marshall question* 241,82 Kg/mm.