

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian ini menggunakan penelitian terdahulu sebagai acuan dan referensi penulis untuk memudahkan penulis dalam melakukan penelitian. Penelitian terdahulu berupa beberapa jenis jurnal terkait yang digunakan sebagai referensi adalah sebagai berikut :

Berdasarkan hasil penelitian (Aldian, 2020), dengan menggunakan aspal PG 76 dengan Variasi 4,5% ; 5% ; 5,5% ; 6% ; 6,5% dan 7%, Terhadap Aspal E-55 bervariasi serupa, dengan menggunakan pengujian *Marshall*. Kadar Aspal Optimum campuran dan Stabilitas E-55 adalah 6,26% dan 1875,6 kg serta pada campuran PG 76 FR adalah 5,75% dan 1866,232 kg Maka nilai stabilitas terbesar ada pada campuran beraspal PG 76 FR sehingga lebih baik dalam menahan deformasi.

Berdasarkan penelitian (Lusyana, 2022) , membandingkan aspal PEN 60/70 dengan aspal PEN 60/70 yang dicampur dengan aspal PG-76, serta aspal PG-76, Dengan variasi kadar aspal 5%; 5,5%; 6%; 6,5%; 7%. Didapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO) 6,37%, pada aspal Pen 60/70; 6,5% pada Campuran aspal PEN 60/70 dan aspal PG-76; serta 6,6% pada aspal PG-76, dimana stabilitas *marshall* setelah direndam 24 jam lebih besar menggunakan aspal PG-76 dibandingkan aspal campuran lainnya.

Berdasarkan hasil penelitian (Safitri, 2022), dengan menggunakan Karet alam (SIR 20) dengan Variasi 0%, 6%, 8% dan 10% Terhadap berat aspal yang bervariasi 4,6%, 5,1%, 5,6%, 6,1%, dan 6,6%, dengan metode pencampuran kering, di dapatkan bahwa Kadar Aspal Optimum (KAO) dengan penambahan karet: 0% KAO 5,6%; karet 6% KAO 5,6%; karet 8% KAO 5,8% dan karet 10% KAO 5,6%. Campuran optimal didapatkan pada kadar karet 8% dimana menunjukkan nilai stabilitas yang tinggi, nilai *flow* yang tidak tinggi dan nilai VIM yang tidak tinggi.

Berdasarkan hasil penelitian (Lagaligo, 2022), dengan menggunakan karet natural bervariasi 0%, 3%, 5%, 7% dan 9%, hasil pengujian *marshall* dengan bahan

tambah karet alam 7% dan KAO sebesar 6%, didapatkan nilai stabilitas terbesar pada temperatur pemadatan 150°C, sehingga dapat disimpulkan bahwa penggunaan karet alam dapat meningkatkan nilai stabilitas, kuat tarik dan ketahanan deformasi pada campuran beton aspal (*AC-WC*).

Berdasarkan hasil penelitian Rochaeti (2019), dengan menggunakan karet alam padat SIR 20 bervariasi 7%, 9%, 11% dan 13% terhadap variasi berat aspal, didapatkan kadar penambahan karet sebesar 9% akan didapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 6.25% memenuhi nilai karakteristik *Marshall* (stabilitas, kelelahan dan rongga dalam campuran).

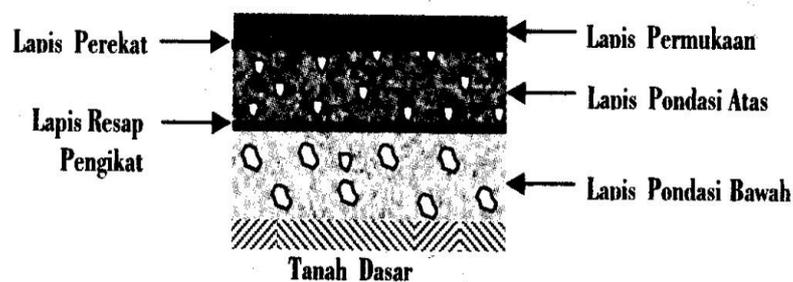
2.2 Perkerasan Jalan

Menurut (Saodang, 2005), perkerasan jalan dapat diartikan sebagai lapisan konstruksi yang dipasang di atas tanah dasar badan jalan untuk menerima dan menahan beban langsung yang dihasilkan oleh aktivitas lalu lintas. Menurut (Sukirman, 1999), mengklasifikasikan konstruksi perkerasan jalan berdasarkan bahan pengikatnya menjadi tiga jenis, yaitu:

1. Konstruksi perkerasan lentur (*flexible pavement*), yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikatnya. Lapisan-lapisan perkerasannya memiliki sifat memikul dan membagi atau menyebarkan beban lalu lintas hingga ke tanah dasar. Konstruksi perkerasan lentur terdiri dari beberapa lapisan, yaitu lapisan permukaan (*surface course*), lapisan pondasi bagian atas (*base course*), lapisan pondasi bagian bawah (*sub base course*), dan lapisan tanah bagian dasar (*subgrade*).
2. Konstruksi perkerasan kaku (*rigid pavement*), yang menggunakan semen (*portland cement*) sebagai bahan pengikat. Plat beton dengan atau tanpa tulangan diletakkan di atas tanah dasar atau tanpa lapis pondasi bawah. Sebagian besar beban lalu lintas dapat dipikul atau ditahan oleh pelat beton.
3. Konstruksi perkerasan komposit (*composite pavement*), yaitu perkerasan gabungan antara perkerasan kaku dan perkerasan lentur. Perkerasan komposit dapat berupa perkerasan lentur pada bagian atas perkerasan kaku atau perkerasan kaku pada bagian atas perkerasan lentur.

2.2.1 Struktur Perkerasan Lentur

Perkerasan lentur terdiri dari beberapa lapisan, dimulai dari lapisan permukaan (*surface course*) yang terdiri dari lapis aus dan lapis antara, diikuti oleh lapisan pondasi atas dan pondasi bawah (*subbase course*), dan yang paling bawah adalah tanah dasar (*subgrade*). Masing-masing lapisan berperan dalam menopang beban lalu lintas, dengan menyalurkan beban tersebut ke lapisan di bawahnya dan menyebarkannya agar terdistribusi dengan baik.



Gambar 2. 1 Lapisan Pengerasan Lentur
(Sumber: Saodang, 2005)

1. Lapis Permukaan (*surface course*)

Menurut (Sukirman, 1999), menyatakan bahwa lapis permukaan pada struktur perkerasan lentur adalah bagian teratas yang memiliki fungsi sebagai berikut:

- a. Lapis penahan beban vertikal dari kendaraan, oleh karena itu lapisan harus memiliki stabilitas yang tinggi.
- b. Lapis kedap air, membuat air hujan yang jatuh di atas lapis permukaan menjadi tidak meresap ke dalam lapis di bawahnya yang dapat mengakibatkan rusaknya struktur perkerasan jalan.
- c. Lapis yang membagi rata atau menyebarkan beban ke lapis pondasi.
- d. Lapis aus *Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)* lapisan yang langsung berhubungan/bersentuhan dengan roda kendaraan sehingga lapisan menerima gaya gesekan dan gaya getaran akibat roda dari kendaraan hingga membuat mudah menjadi aus.

Menurut (Sukirman, 2010), pada struktur perkerasan lentur, lapis permukaan menggunakan aspal sebagai bahan pengikat yang membuatnya memiliki sifat kedap air, stabil, dan tahan lama selama masa penggunaannya. Lapis permukaan tersebut terdiri dari dua jenis, yaitu lapis aus dan lapis antara. Perbedaan antara kedua jenis lapisan ini adalah lapis aus *Asphalt Concrete Wearing-Course (AC-WC)* yang berada di paling atas dan langsung bersentuhan dengan roda kendaraan, serta terpapar dengan cuaca yang dapat membuat lapisan cepat rusak dan aus. Sedangkan lapis antara *Asphalt Concrete Binder-Course (AC-BC)* berfungsi sebagai penyangga beban lalu lintas dan mendistribusikannya ke lapis pondasi.

2. Lapis Pondasi Atas (*Base Course*)

Lapis Pondasi Atas (*Base Course*) adalah bagian perkerasan jalan yang terletak di antara lapis pondasi bawah dan lapis permukaan. Lapisan ini memiliki beberapa fungsi penting, antara lain:

- a. Berperan sebagai bagian perkerasan yang menahan gaya dari beban roda kendaraan dan mendistribusikannya ke lapisan di bawahnya.
- b. Berfungsi sebagai lapisan peresapan untuk pondasi bawah, mencegah air dan kelebihan air merusak struktur perkerasan.
- c. Memberikan bantalan dan penyangga terhadap lapisan permukaan yang menopang beban horizontal dan vertikal yang melewatinya.

3. Lapisan pondasi bawah (*Subbase*)

Lapis Pondasi Bawah (*Subbase*) terletak di antara lapis pondasi atas dan tanah dasar dan memiliki beberapa fungsi utama, yaitu:

- a. Menyebarkan beban roda ke tanah dasar dan membantu mengurangi tebal lapisan di atasnya yang lebih mahal.
- b. Mengoptimalkan efisiensi penggunaan material, karena material pondasi bawah lebih murah dibandingkan yang berada di atasnya.
- c. Melindungi lapisan di atasnya dari partikel-partikel halus dari tanah dasar.
- d. Berfungsi sebagai lapisan peresapan agar air tanah tidak mengumpul di pondasi maupun di tanah dasar.
- e. Menjadi lapisan pertama dalam pelaksanaan pekerjaan konstruksi perkerasan agar pekerjaan berjalan dengan lancar.

4. Lapis Tanah Dasar (*Sub grade*)

Lapisan tanah dasar (*sub grade*) dengan ketebalan 50-100 cm terletak di bawah tiga lapisan yang ada di atasnya. Lapisan ini dapat berupa tanah asli yang dipadatkan, atau tanah dari daerah lain yang dipadatkan, atau tanah yang distabilisasi dengan kapur atau bahan lainnya. Agar pemadatan berjalan baik, sebaiknya dilakukan pada kadar air optimum dan menjaga agar kadar air tersebut tetap konstan selama umur rencana. Dalam hal ini, lapisan tanah dasar dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu:

- a. Lapisan tanah dasar, tanah galian.
- b. Lapisan tanah dasar, tanah timbunan.
- c. Lapisan tanah dasar, tanah asli.

2.3 Cuaca *Ekstrem*

Cuaca *Ekstrem*/ekstrim adalah kejadian fenomena alam yang tidak normal dan tidak lazim dan ditandai oleh kondisi curah hujan, arah dan kecepatan angin, suhu udara, dan kelembapan udara. Aspal mempunyai kepekaan terhadap perubahan cuaca yaitu pada suhu/ temperatur, karena aspal adalah material yang termoplastis. Aspal akan menjadi keras atau lebih kental jika temperatur berkurang dan akan lunak atau cair bila temperatur bertambah. Setiap jenis aspal mempunyai kepekaan terhadap temperatur berbeda-beda, karena kepekaan tersebut dipengaruhi oleh komposisi kimiawi aspalnya, walaupun mungkin mempunyai nilai penetrasi atau viskositas yang sama pada temperatur tertentu. Pemeriksaan sifat kepekaan aspal terhadap perubahan temperatur perlu dilakukan sehingga diperoleh informasi tentang rentang temperatur yang baik untuk pelaksanaan pekerjaan. Temperatur campuran beraspal panas merupakan satu-satunya faktor yang paling penting dalam pemadatan, karena mempengaruhi viskositas aspal yang digunakan.

Pada Tabel 2.1 ini memperlihatkan nilai viskositas aspal dan Batasan suhu selama pencampuran, penghamparan, dan pemadatan pada proses pelaksanaan pekerjaan perkerasan jalan.

Tabel 2. 1 Ketentuan viskositas dan temperatur aspal

No.	Prosedur Pelaksanaan	Viskositas Aspal (CST)	Suhu campuran (°C)
			Pen 60/70
1	Pencampuran benda uji <i>Marshall</i>	170±20	155 ± 1
2	Pemadatan benda uji <i>Marshall</i>	280±30	140± 1
3	Pencampuran rentang temperatur sasaran	200-500	145-155
4	Menuangkan campuran dari AMP ke truk	+500	135-150
5	Pasokan ke alat penghamparan (<i>paver</i>)	500-1.000	130-150
6	Penggilasan awal (roda baja)	1.000-2.000	125-145
7	Penggilasan kedua (roda karet)	2.000-20.000	100-125
8	Penggilasan akhir (roda baja)	<20.000	>95

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Aspal

2.4 Agregat

2.4.1 Pengertian Agregat

Agregat merupakan jenis material granular seperti kerak tungku besi, pasir, dan batu pecah, yang digunakan bersama-sama dengan beton semen hidraulik atau campuran adukan SNI 03-4804-1998. Menurut (Sukirman, 2003), agregat adalah komponen utama dalam struktur perkerasan jalan yang membentuk 90%-95% persentase berat atau 75%-85% persentase volume. Oleh karena itu, kualitas perkerasan jalan sangat dipengaruhi oleh sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan bahan lainnya.

2.4.2 Jenis-Jenis Agregat

Menurut (Sukirman, 2016), Agregat dapat dibedakan berdasarkan proses terjadinya, pengolahan, dan ukuran butirannya.

1. Berdasarkan Proses Terjadinya :

a. Agregat Beku (*Igneous Rock*)

Agregat beku (*igneous rock*) adalah agregat yang berasal dari magma yang mendingin dan membeku. Agregat beku dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

- 1) Agregat beku luar (*extusive igneous rock*) dibentuk dari magma yang keluar ke permukaan bumi di saat gunung berapi meletus, dan akibat pengaruh cuaca mengalami pendinginan dan membeku. Pada

umumnya agregat beku luar berbutir halus seperti batu apung, *andesit*, *basalt*, *obsidian*, *pumice*.

- 2) Agregat beku dalam (*intrusive igneous rock*) dibentuk dari magma yang tak dapat keluar ke permukaan bumi, mengalami pendinginan dan membeku secara perlahan-lahan di dalam bumi, dapat ditemui di permukaan bumi karena proses erosi dan atau gerakan bumi. Agregat beku dalam umumnya bertekstur kasar seperti *gabbro*, *diorite*, *syenit*.

b. Agregat Sedimen (*Sedimentary Rock*)

Agregat sedimen (*sedimentary rock*) dapat berasal dari campuran partikel mineral, sisa-sisa hewan dan tanaman yang mengalami pengendapan dan pembekuan. Pada umumnya merupakan lapisan- lapisan pada kulit bumi, hasil endapan di danau, laut dan sebagainya.

c. Agregat Metamorfik (*Metamorphic Rock*)

Agregat metamorfik (*metamorphic rock*) adalah agregat sedimen ataupun agregat beku yang mengalami proses perubahan bentuk akibat adanya perubahan tekanan dan *temperature* kulit bumi. Berdasarkan strukturnya dapat dibedakan atas agregat *metamorf* yang *massif* seperti marmer, kwarsit dan agregat *metamorf* yang berfoliasi, berlapis seperti batu *sabak*, *filit*, *sekis*.

2. Berdasarkan Pengolahannya:

Berdasarkan pengolahannya agregat dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

a. Agregat Siap Pakai

Agregat yang siap pakai ialah material agregat yang dapat langsung digunakan sebagai bahan perkerasan jalan tanpa melalui proses pengolahan yang banyak. Agregat jenis ini terbentuk melalui proses alami seperti erosi dan degradasi. Kerikil dan pasir adalah dua jenis agregat alam yang sering digunakan sebagai bahan perkerasan jalan dengan bentuk dan ukuran yang sama seperti saat ditemukan di lokasi asalnya. Agregat ini juga dikenal dengan sebutan "asli" karena tidak melalui banyak proses pengolahan.

b. Agregat yang Perlu Diolah Terlebih Dahulu Sebelum Dipakai

Agregat ini merupakan jenis agregat yang berasal dari lokasi asalnya seperti bukit, gunung, atau sungai tanpa melalui proses pengolahan. Jenis

agregat ini biasanya terdiri dari kerikil dan pasir. Namun, ada juga jenis agregat alami yang perlu melalui proses pengolahan terlebih dahulu di mesin pemecah batu untuk mendapatkan ukuran dan bentuk sesuai kebutuhan. Agregat yang dihasilkan dari proses pengolahan ini memiliki bidang pecahan dan tekstur yang lebih kasar sehingga lebih baik digunakan sebagai material perkerasan jalan. Selain agregat alami, terdapat juga jenis agregat buatan yang dihasilkan dari proses produksi seperti semen dan kapur, atau dari limbah industri seperti abu terbang.

3. Berdasarkan Ukuran Butirnya

Berdasarkan ukuran butirannya membedakan agregat menjadi :

- a. Agregat Kasar, adalah agregat dengan ukuran butir lebih besar dari saringan No. 4 (4,75 mm)
- b. Agregat Halus, adalah agregat dengan ukuran butir lebih halus dari saringan No. 4 (4,75 mm)

2.4.3 Sifat Agregat

Sifat-sifat dari agregat sangat mempengaruhi kemampuan perkerasan jalan dalam menahan beban lalu lintas dan cuaca. Menurut (Saodang, 2005), menyatakan bahwa agregat di Indonesia umumnya memiliki daya serap yang tinggi, seperti absorpsi bitumen rata-rata sekitar 2% dari berat campuran aspal. Selain itu, pasir yang digunakan juga bervariasi mulai dari pasir vulkanis yang memiliki friksi yang sangat tinggi, pasir yang sulit dipadatkan, hingga pasir laut yang mudah dipadatkan namun memiliki kekuatan campuran aspal yang relatif rendah.

Untuk memastikan kualitas campuran aspal yang baik, penting untuk melakukan serangkaian tes pada agregat dan campurannya. Oleh karena itu, diperlukan pemeriksaan yang cermat sebelum memutuskan apakah suatu agregat dapat digunakan sebagai bahan perkerasan jalan. Menurut (Sukirman, 2016), ada beberapa sifat agregat yang menentukan kualitasnya sebagai bahan perkerasan jalan, di antaranya adalah sebagai berikut:

1. Gradasi Agregat

Gradasi Agregat merupakan distribusi ukuran butiran dari agregat baik agregat kasar dan halus yang dinyatakan dalam persentase terhadap total beratnya (Fannisa H. dan Wahyudi M, 2010). Dapat dibedakan menjadi tiga macam, yaitu :

a. Gradasi Seragam

Gradasi seragam dikarenakan mempunyai ukuran agregat yang hampir seragam atau hampir sama. Sering juga disebut agregat yang bergradasi terbuka disebabkan mempunyai pori antar butir yang cukup besar.

b. Gradasi Senjang

Gradasi senjang dikarenakan agregat yang tidak mempunyai ukuran yang tidak sama rata dan memiliki sela dan juga memiliki rongga yang lebih banyak karena gradasi senjang tidak memiliki gradasi dengan ukuran yang medium.

c. Gradasi Menerus

Gradasi menerus dikarenakan semua agregat ukuran butirnya ada dan terdistribusi dengan baik. Pada lapisan perkerasan lentur agregat ini lebih sering digunakan.

Gradasi agregat memegang peranan penting dalam menentukan kualitas perkerasan jalan secara menyeluruh. Gradasi dapat didefinisikan sebagai urutan butir-butir agregat sesuai dengan ukurannya. Ukuran butir agregat dapat diukur melalui analisis saringan. Satu set saringan umumnya terdiri dari beberapa ukuran saringan. Ukuran saringan dinyatakan dalam satuan panjang dan menunjukkan ukuran lubang saringan, sementara nomor saringan menunjukkan banyaknya lubang dalam 1 inci panjang, seperti yang tertera pada Tabel 2.2 sebagai berikut :

Tabel 2. 2 Ukuran Bukaan Saringan

Ukuran Saringan	Bukaan (mm)	Ukuran Saringan	Bukaan (mm)
4 inch	100	3/8 inch	9,5
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 :SNI 03-1968-1990)

Gradasi agregat dapat diperiksa dengan melakukan pengujian analisa saringan berdasarkan (SNI ASTM C 1360-06-2012)

Menurut (Clarkson dan Hicks (1996), bahwa gradasi agregat yang berbeda dapat menghasilkan perkerasan beton aspal yang berkualitas baik. Untuk campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)*, gradasi agregat gabungan yang kontinu harus memenuhi batas-batas tertentu dan harus berada di luar daerah larangan (*restriction zone*), seperti yang tertera pada tabel di bawah ini. Perbandingan juga harus dilakukan dengan *Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC)* yang memiliki ukuran butir agregat maksimum 25 mm atau 1” dan *Asphalt Concrete-Base (AC-Base)* dengan ukuran butir agregat maksimum 37,5 mm atau 1½”. Sedangkan untuk *Asphalt Concrete Wearing-Course (AC-WC)*, ukuran butir agregat maksimum adalah 19 mm atau ¾”. Untuk persyaratan gradasi agregat tercantum pada tabel 2.3 sebagai berikut :

Tabel 2.3 Persyaratan Gradasi Agregat Campuran Beton Aspal

Ukuran Saringan	% Berat Lolos		
	AC-WC	AC-BC	AC-BASE
mm			
37,5			100
25,0		100	90-100
19,0	100	90-100	76-90
12,5	90-100	75-90	60-78
9,5	77-90	66-82	52-71
4,75	53-69	46-64	35-54
2,36	33-53	30-49	23-41
1,18	21-40	18-38	13-30
0,600	14-30	12-28	10-22
0,300	9-22	7-20	6-15
0,150	6-15	5-13	4-10
0,075	4-9	4-8	3-7

(Sumber : Sumber: Spesifikasi Umum Direktorat Jenderal Bina Marga Pekerjaan Konstruksi Jalan Dan Jembatan 2018).

2. Ukuran Maksimum Agregat

Ukuran maksimum agregat adalah satu saringan atau ayakan yang lebih besar dari ukuran nominal maksimum, dapat dinyatakan dengan :

- a. Ukuran Maksimum Agregat, menunjukkan ukuran saringan terkecil bila mana agregat yang lolos saringan tersebut sebanyak 100%.
- b. Ukuran Nominal Maksimum Agregat, menunjukkan ukuran saringan terbesar bila mana agregat tertahan tidak lebih dari 10%.

3. Kebersihan Agregat (*Cleanliness*)

Untuk menentukan kebersihan agregat, dilakukan pemeriksaan pada butir-butir halus yang lolos saringan No.200. Keberadaan material halus seperti lempung, lanau, atau bahkan tumbuh-tumbuhan pada campuran agregat dapat mempengaruhi kualitas perkerasan jalan secara keseluruhan. Oleh karena itu,

perlu dilakukan pemeriksaan yang teliti terhadap kebersihan agregat sebelum digunakan sebagai material perkerasan jalan.

4. Daya Tahan Agregat

Daya tahan agregat adalah kemampuan agregat untuk tetap mempertahankan kualitasnya selama masa penggunaan dan dalam kondisi yang berbeda seperti beban lalu lintas, perubahan suhu, kelembaban, dan lain-lain. Agregat yang mudah mengalami degradasi akan berdampak pada menurunnya kualitas perkerasan jalan. Oleh karena itu, diperlukan pengujian untuk mengetahui daya tahan agregat terhadap degradasi. Salah satu metode pengujian yang digunakan adalah pengujian Abrasi *Los Angeles*, di mana agregat diuji dengan alat abrasi *Los Angeles* dan diukur nilai kehilangan massa. Metode pengujian ini diatur oleh (SNI-2417-2008.)

5. Bentuk dan Tekstur Agregat

Berdasarkan bentuknya, partikel atau butir agregat dikelompokkan menjadi berbentuk bulat, lonjong, pipih, kubus, tak beraturan, atau mempunyai bidang pecahan.

6. Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat

Di dalam perhitungan rancangan campuran dibutuhkan parameter penunjuk berat yaitu berat jenis agregat. Berat jenis agregat adalah perbandingan antara berat volume agregat dan berat volume air. Agregat dengan berat jenis kecil, mempunyai volume yang besar atau berat yang ringan. Terdapat beberapa jenis berat jenis agregat (*specific gravity*) dan perhitungannya yaitu sebagai berikut :

a. Berat Jenis Curah (*Bulk Specific Gravity*)

Merupakan berat jenis yang diperhitungkan pada seluruh volume pori yang terdapat berat jenis curah dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

Berat jenis *Bulk* agregat kasar

$$\frac{Bk}{Bj - Ba}$$

Berat jenis *Bulk* agregat halus

$$\frac{Bk}{B + Bs - Bt}$$

Keterangan :

- B = Berat piknometer berisi air, (gram)
- Bk = Berat benda uji kering *oven*, (gram)
- Bs = Berat *sample*, (gram)
- Bt = Berat piknometer uji dan air, (gram)
- Bj = Berat sampel kering permukaan jenuh, (gram)
- Ba = Berat uji kering permukaan jenuh dalam air, (gram)

b. Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (SSD)

Merupakan berat jenis yang menghitung volume pori yang diresapi oleh aspal yang ditambah dengan volume partikel, dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

Berat jenis SSD agregat kasar

$$\frac{Bj}{Bj - Ba}$$

Berat jenis SSD agregat halus

$$\frac{Bs}{B + Bs - Bt}$$

Keterangan :

- B = Berat piknometer berisi air, (gram)
- Bk = Berat benda uji kering *oven*, (gram)
- Bs = Berat *sample*, (gram)
- Bt = Berat piknometer uji dan air, (gram)
- Bj = Berat sampel kering permukaan jenuh, (gram)
- Ba = Berat uji kering permukaan jenuh dalam air, (gram)

c. Berat Jenis Semu

Merupakan berat jenis yang menghitung volume partikel saja tanpa memperhitungkan volume pori yang dilewati air, dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

Berat jenis Semu agregat kasar

$$\frac{Bk}{Bk - Ba}$$

Berat jenis Semu agregat halus

$$\frac{Bk}{B + Bk - Bt}$$

Keterangan :

- B = Berat piknometer berisi air, (gram)
- Bk = Berat benda uji kering *oven*, (gram)
- Bs = Berat *sample*, (gram)
- Bt = Berat piknometer uji dan air, (gram)
- Bj = Berat sampel kering permukaan jenuh, (gram)
- Ba = Berat uji kering permukaan jenuh dalam air, (gram)

d. Penyerapan Air (Sw)

Penyerapan air adalah penambahan berat dari suatu agregat akibat air yang meresap ke dalam pori-pori, tetapi belum termasuk air yang tertahan pada permukaan luar partikel, dinyatakan sebagai persentase dari berat keringnya; agregat dikatakan "kering" ketika telah dijaga pada suatu temperatur $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ dalam rentang waktu yang cukup untuk menghilangkan seluruh kandungan air yang ada (sampai beratnya tetap). Dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

Penyerapan air agregat kasar

$$\frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100\%$$

Keterangan :

Bj = Berat sampel kering permukaan jenuh, (gram)

Bk = Berat benda uji kering *oven*, (gram)

Penyerapan air agregat halus

$$\frac{Bs - Bk}{Bk} \times 100\%$$

Keterangan :

Bs = Berat *sample*, (gram)

Bk = Berat benda uji kering *oven*, (gram)

2.4.4 Pemeriksaan Karakteristik Agregat

Pemeriksaan agregat perlu dilakukan untuk menentukan sifat fisik dan kimiawi agregat. Secara garis besar sesuai tujuannya pemeriksaan agregat dapat dikelompokkan menjadi 5 bagian pengujian, antara lain:

1. Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat;
2. Pengujian abrasi dengan mesin *los angles*;
3. Pengujian analisa saringan;
4. Pengujian kadar lumpur;
5. Pengujian kelekatan agregat;

Dari pengelompokan tersebut maka dapat dilakukan beberapa pemeriksaan karakteristik aspal antara lain adalah sebagai berikut:

1. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat

Pengujian berat jenis agregat bertujuan untuk menentukan nilai dari berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh, berat jenis semu, dan angka penyerapan dari agregat. Pengujian ini menggunakan acuan SNI 1969-2008 Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar dan SNI 1970-2008 Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus.

2. Abrasi Dengan Mesin *Los Angeles*

Pengujian abrasi bertujuan untuk mengetahui angka keausan yang dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus terhadap berat semula dalam persen. Hasilnya dapat digunakan dalam perencanaan dan pelaksanaan bahan perkerasan jalan atau konstruksi beton. Pengujian ini menggunakan acuan SNI-2417-2008. Cara Uji Keausan Agregat Dengan Mesin Abrasi *Los Angeles*.

3. Analisa Saringan

Pengujian analisa saringan bertujuan untuk menentukan pembagian butir gradasi dari agregat. Pengujian ini menggunakan acuan SNI 03-1968-1990, Cara Uji untuk Analisis Saringan Agregat Halus dan Agregat Kasar.

4. Kadar Lumpur

Pengujian kadar lumpur agregat bertujuan untuk menentukan persentase kadar lumpur agregat yang digunakan sebagai campuran beton. Pengujian ini menggunakan acuan SNI 03-4142-1996. Metode Pengujian Jumlah Bahan dalam Agregat Yang Lolos Saringan No.200 (0.075 mm).

5. Kelekatan Agregat

Pengujian kelekatan agregat bertujuan untuk mengukur angka kelekatan agregat terhadap aspal, penentuan nilai ini dilakukan secara visual dan dinyatakan dalam persen. Pengujian ini menggunakan acuan SNI 2439-2011 Cara Uji Penyelimutan dan Pengelupasan Pada Campuran Agregat-Aspal.

2.4.5 Klasifikasi dan Persyaratan Agregat

Berdasarkan klasifikasi dan persyaratan agregat kasar dan agregat halus. Maka digunakan untuk campuran aspal adalah:

1. Agregat Kasar

Fraksi agregat kasar untuk rancangan yang tertahan saringan No.4 (4,75 mm) dan harus bersih, awet, keras, dan juga bebas dari lempung atau bahan yang tidak sesuai klasifikasi dan memenuhi persyaratan, untuk ketentuan dari agregat kasar tercantum pada tabel 2.4 sebagai berikut:

Tabel 2. 4 Ketentuan agregat kasar

Pengujian		Standar	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan natrium dan magnesium sulfat	Natrium Sulfat	SNI 3470:2008	Maks. 12%
	Magnesium Sulfat		Maks. 18%
Abrasi dengan mesin <i>Los Angles</i>	Campuran AC modifikasi	100 putaran	Maks. 6%
		500 putaran	Maks. 30%
	Semua Campuran aspal bergradasi lainnya	100 putaran	Maks. 8%
		500 putaran	Maks. 40%
Kelekatan Agregat terhadap aspal		SNI 2439:2011	min. 95%
Butiran pecah pada agregat kasar		SNI 7619:2012	95/90*
Partikel pipih dan lonjong		RSNI T-01-2005 (1: 5)	Maks. 10%
Material lolos ayakan No.200		SNI 03-4142-1996	Maks 2%

Sumber: Spesifikasi Umum Divisi VI, Bina Marga, 2018.

2. Agregat Halus

Agregat halus terdiri dari pasir atau penyaringan batu pecah dan terdiri dari bahan yang lolos saringan No.4 (4,75 mm) dan tertahan saringan No,200 (0,075) yang sesuai dengan SNI 03-6819-2002. Agregat halus memiliki fungsi utama untuk memberikan kehalusan pada campuran aspal dan meningkatkan kekuatan ikatan antara aspal dengan agregat kasar. Selain itu, agregat halus juga berfungsi untuk meningkatkan kekuatan kompresi dan mengurangi deformasi permanen pada perkerasan jalan. Proses ini terjadi melalui adanya saling mengunci antara butiran agregat halus dan kasar, serta terjadinya gesekan antar butirannya. Untuk ketentuan dari agregat halus tercantum pada tabel 2.5 sebagai berikut:

Tabel 2. 5 Ketentuan agregat halus

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min 60%
Angularitas dengan uji rongga udara	SNI 03-6877-2002	Min 45%
Gumpalan Lempung dan butiran-butiran mudah pecah	SNI 03-4141: 1996	Maks. 1%
Material Lolos Ayakan No.200	SNI 03-4142-1996	Maks. 10%

Sumber: Spesifikasi Umum Divisi VI, Bina Marga, 2018.

2.5 Filler

Menurut (Hamzah, 2016), *Filler* adalah bahan yang digunakan sebagai pengisi dalam campuran aspal. *filler* harus 100% lolos saringan No. #100 dan setidaknya 75% lolos saringan No. #200. Fungsinya adalah untuk mengisi rongga antara agregat halus dan kasar yang diperoleh dari pemecahan batu secara alami atau buatan. Bahan pengisi yang dapat digunakan meliputi abu batu, kapur padam, *portland cement* (PC), debu *dolomite*, abu terbang, debu tanur tinggi pembuat semen atau bahan mineral yang tidak plastis. Dalam campuran beton aspal, *filler* membantu meningkatkan stabilitas, menahan deformasi permanen, serta meningkatkan umur layanan perkerasan jalan.

Tujuan penggunaan bahan pengisi adalah untuk meningkatkan viskositas bitumen dan mengurangi sensitivitas terhadap perubahan suhu. Keuntungan lain yang diperoleh dari penggunaan bahan pengisi adalah meningkatkan volume bitumen karena banyak terserap oleh bahan tersebut. Bahan pengisi juga dapat mengurangi volume pori-pori atau rongga dalam campuran aspal, meningkatkan kepadatan dan menurunkan permeabilitasnya.

Untuk Persyaratan karakteristik mengenai *filler* untuk campuran beraspal ditunjukkan pada tabel 2.6 sebagai berikut :

Tabel 2. 6 Ketentuan bahan pengisi (filler)

Pengujian		Metode Pengujian	Nilai
Material lolos ayakan No. 200		SNI ASTM C136:2012	Min. 75%
Indeks Plastisitas	Abu Batu	SK SNI M – 1966-1990-F	≤ 4
	Abu Slag		≤ 4
	Kapur (CaCO_3)		≤ 4
	Abu Terbang Semen		≤ 4
	Semen		-
	Kapur Hidrolik (Ca(OH)_2)		-
Nilai Hilang Pijar	Abu Terbang	SNI 03-2460-1991	Maks. 12%

Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Spesifikasi Umum 2018) dan SNI 03-6723-2002

Berdasarkan spesifikasi kementerian PUPR (2018), bahan pengisi yang ditambahkan, untuk semen harus dalam rentang 1% sampai dengan 2% terhadap

berat total agregat dan untuk bahan pengisi lainnya harus dalam rentang 1% sampai dengan 3% terhadap berat total agregat.

2.6 Aspal

2.6.1 Pengertian Aspal

Menurut (Saodang, 2005), Aspal merupakan suatu bahan alami yang terdiri dari komponen kimia hidrokarbon dan dieksplorasi dalam bentuk berwarna hitam yang bersifat plastis hingga cair. Bahan ini umumnya tidak dapat larut dalam larutan asam encer, alkali atau air, namun dapat terlarut sebagian besar dalam *aether*, *CS₂* *bensol* dan *chloroform*.

Untuk membuat perkerasan beraspal yang berkualitas, aspal harus memiliki beberapa karakteristik yang penting. Fungsi utama dari aspal adalah sebagai pengikat agar agregat tidak mudah terlepas akibat pengaruh lalu lintas dan lingkungan. Selain itu, aspal juga berperan sebagai lapis kedap yang dapat melindungi agregat dan material lainnya dari pengaruh air. Beberapa karakteristik yang harus dimiliki oleh aspal agar dapat berfungsi dengan baik meliputi sebagai berikut :

1. Aspal harus dapat melapisi agregat dan mengisi rongga antar agregat hingga perkerasan cukup rapat dan kedap air.
2. Aspal mempunyai adhesi yang baik terhadap agregat.
3. Aspal tidak peka terhadap perubahan suhu dilapangan.
4. Aspal mudah dikerjakan.
5. Aspal mempunyai kohesi yang baik.
6. Aspal tidak cepat rapuh atau lapuk.
7. Aspal aman saat pengerjaan.
8. Aspal homogen dan tidak berubah selama penyimpanan.
9. Aspal memberikan kinerja yang baik terhadap campuran.

2.6.2 Jenis-Jenis Aspal

Menurut (Sukirman, 2016), Berdasarkan sumbernya aspal dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu aspal alam dan aspal minyak. Aspal alam adalah jenis aspal

yang diperoleh secara alami di suatu tempat dan dapat langsung digunakan tanpa perlu banyak pengolahan. Sedangkan aspal minyak adalah jenis aspal yang diperoleh dari residu pengolahan minyak bumi.

1. Aspal Alam

Aspal alam ada yang diperoleh di gunung-gunung seperti aspal di Pulau Buton, dan ada pula yang diperoleh di danau seperti di Trinidad. Aspal alam terbesar di dunia terdapat di Trinidad, berupa aspal danau (*Trinidad Lake Asphalt*). Indonesia memiliki aspal alam yaitu di Pulau Buton, yang berupa aspal gunung, terkenal dengan nama Asbuton (Aspal Batu Buton). Asbuton merupakan campuran antara bitumen dengan bahan mineral lainnya dalam bentuk batuan. Karena asbuton merupakan mineral yang ditemukan begitu saja di alam, maka kadar bitumen yang dikandungnya sangat bervariasi dari rendah sampai tinggi. Produk asbuton dapat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu:

- a. Produk asbuton yang masih mengandung material *filler*, seperti asbuton kasar, asbuton halus, asbuton mikro, dan *butonite mastic asphalt*.
- b. Produk asbuton yang telah dimurnikan menjadi aspal murni melalui proses ekstraksi atau proses kimiawi.

2. Aspal Minyak

Setiap minyak bumi menghasilkan residu yang dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu *asphaltic base crude oil* yang banyak mengandung aspal, *parafin base crude oil* yang banyak mengandung *parafin*, dan *mix base crude* yang mengandung campuran antara *parafin* dan aspal. Untuk perkerasan jalan, umumnya digunakan aspal minyak jenis *asphaltic base crude oil*. Aspal minyak memiliki beberapa bentuk pada suhu ruangan yang dapat dibedakan atas:

a. Aspal padat

Aspal padat adalah jenis aspal yang memiliki bentuk padat atau semi-padat pada suhu ruangan, namun akan menjadi cair jika dipanaskan. Biasanya, aspal padat dikenal juga dengan nama semen aspal (*asphalt cement*). Produk ini sangat penting dalam konstruksi perkerasan jalan karena berfungsi sebagai bahan pengikat yang kuat dan tahan lama. Aspal padat yang berkualitas baik harus memenuhi standar tertentu, termasuk dalam hal viskositas, stabilitas

termal, dan sifat reologi yang sesuai. Hal ini penting untuk memastikan bahwa produk aspal padat dapat bekerja dengan efektif dalam jangka waktu yang lama dan menjamin kualitas perkerasan jalan yang baik.

b. Aspal cair

Aspal cair atau *cutback asphalt* adalah jenis aspal yang berbentuk cair pada suhu ruang. Aspal cair ini merupakan jenis semen aspal yang dicampur dengan bahan pencair berupa hasil penyulingan minyak bumi, seperti minyak tanah, bensin, atau solar. Proses pencampuran ini dilakukan untuk mengurangi kekentalan aspal dan memudahkan proses aplikasi pada perkerasan jalan. Selain itu, aspal cair juga memiliki keunggulan dalam waktu pengeringan yang lebih cepat dibandingkan dengan aspal padat. Namun, karena mengandung bahan kimia pengencer, penggunaan aspal cair perlu dilakukan dengan hati-hati dan memperhatikan aspek keselamatan kerja.

c. Aspal emulsi

Aspal emulsi atau *emulsified asphalt* adalah suatu jenis aspal yang merupakan campuran antara aspal, air, dan bahan pengemulsi yang dicampur di pabrik pencampur. Aspal emulsi memiliki kelebihan berupa kelembutan dan kemampuan mengikat yang baik. Butiran aspal dalam aspal emulsi dapat larut dalam air karena diberi muatan listrik untuk mencegah adanya interaksi antar butiran dan membentuk butiran yang lebih besar. Hal ini membuat aspal emulsi lebih mudah untuk di aplikasikan pada permukaan jalan dan konstruksi lainnya.

Dalam penelitian ini peneliti menggunakan 2 material jenis aspal yaitu:

1. Aspal Pertamina PEN 60/70

Aspal yang sering digunakan untuk campuran aspal beton adalah aspal pertamina/aspal minyak/aspal keras mempunyai tingkat kekerasan yang tinggi yaitu nilai penetrasi berkisar 60-70. Persyaratan aspal dapat dilihat pada Tabel 2.7 sebagai berikut :

Tabel 2. 7 Persyaratan Aspal PEN 60/70

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Tipe I Aspal Pen 60 – 70
1.	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 2456:2011	60 – 70
2.	Viskositas Kinematis 135°C (cSt)	ASTM D2170-10	≥ 300
3.	Titik Melembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 48
4.	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100
5.	Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥ 232
6.	Kelarutan dalam <i>Trichloroethylene</i> (%)	AASHTO T44-14	≥ 99
7.	Berat Jenis	SNI 2441:2011	≥ 1,0
8.	Kadar Parafin Lilin (%)	SNI 03-3639-2002	≤ 2
Pengujian Residu hasil TFOT (SNI-06-2440-1991) atau RTFOT (SNI-03-6835-2002)			
9.	Berat yang Hilang (%)	SNI 06-2441-1991	≤ 0,8
10.	Penetrasi pada 25°C (% semula)	SNI 2456:2011	≥ 54
11.	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥ 50

Sumber: Kementerian PUPR (*Spesifikasi Umum Bina Marga 2018*)

2. Aspal Karet Alam Padat (AKAP) PG 76

Aspal Karet Alam Padat (AKAP) PG 76 merupakan aspal modifikasi karet alam padat (*solid natural rubber SIR 20*) yang diolah dengan penambahan bahan kimia ke karet alam, seperti sulfur, *accelerator*, pendispersi, antioksidan, yang dicampur melalui proses penggilingan menggunakan *kneader/bunburry mixer/open mill* hingga menjadi campuran homogen yang disebut kompon. Kompon tersebut selanjutnya diproses secara termal menjadi vulkanisat yang kemudian menjadi *granule*. Aspal Karet Alam Padat (AKAP) PG 76, juga merupakan aspal yang mempunyai *performance grade 76* yang mana aspal ini dibuat untuk tahan terhadap pada suhu 76°C.

Untuk persyaratan AKAP dapat dilihat pada tabel 2.8 sebagai berikut:

Tabel 2. 8 Persyaratan Aspal Karet Alam Padat

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Tipe II Aspal Modifikasi	
			AKAP	
			PG 70	PG 76
	<i>Original Binder</i>			
1	Penetrasi pada 25 °C (0,1 mm)	SNI 2456:2011	Dilaporkan ¹⁾	
2	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis ($G^*/\sin\delta$) pada osilasi 10 rad/detik $\geq 1,0$ kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	70	76
3	Viskositas pada 135 °C dengan alat: <ul style="list-style-type: none"> • <i>Rotational viscometer</i> (Pa.s), • <i>Saybolt furol viscometer</i> (cSt) 	SNI 06-6441-2000 Atau SNI 7729:2011	$\leq 3,0$ ≤ 3.000	
4	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	Dilaporkan ²⁾	
5	Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥ 230	
6	Kelarutan dalam <i>Trichloroethylene</i>	SNI 2438:2015	≥ 99	
7	Berat Jenis	SNI 2441:2011	Dilaporkan	
8	Stabilitas Penyimpanan: Perbedaan Titik Lembek (°C)	ASTM D 7173-20 Dan SNI 2434:2011	$\leq 2,2$	
Pengujian Residu hasil TFOT (SNI-06-2440-1991) atau RTFOT(SNI-03-6835-2002) :				
9	Berat yang Hilang (%)	SNI 06-2441-1991	≤ 1	
10	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis ($G^*/\sin\delta$) pada osilasi 10 rad/detik $\geq 2,2$ kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	70	76
Residu aspal segar setelah PAV (SNI ASTM D 6521:2012) pada temperatur 100 °C dan tekanan 2,1 MPa				
11	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis ($G^*/\sin\delta$) pada osilasi 10 rad/detik ≤ 5000 kPa, (°C) ³⁾	SNI 06-6442-2000	31	34
¹⁾ Diperlu boleh berbeda lebih dari 5 (0,1 mm) dari hasil uji yang dilaporkan. ²⁾ Diperlukan untuk pengendalian mutu di lapangan dengan ketentuan titik lembek diterima kalau paling sedikit memiliki nilai -1 dari nilai titik lembek yang dilaporkan. ³⁾ Bila geser dinamis <i>fatigue factor</i> ($G^*\sin\delta$) lebih kecil dari 5.000 kPa, maka δ tidak harus memenuhi ketentuan. Bila geser dinamis <i>fatigue factor</i> ($G^*\sin\delta$) 5.000 kPa sampai dengan 6.000 kPa, maka δ harus memenuhi ketentuan.				

(Sumber: Spesifikasi Khusus Interim SKh-02.M.04 Aspal Karet Alam Padat)

2.6.3 Sifat Aspal

Menurut (Sukirman, 2003), Aspal atau yang juga dikenal dengan istilah bitumen terdiri dari unsur karbon (C) sebagai komponen utamanya, dengan kadar sekitar 80%. Pada konstruksi perkerasan jalan, aspal berfungsi sebagai:

1. Bahan pengikat yang memberikan ikatan yang kuat antara aspal dan agregat.
2. Bahan pengisi yang mengisi celah antara butir-butir agregat dan pori-pori yang ada di dalam agregat itu sendiri.

Dalam hal ini, aspal harus memiliki sifat daya tahan yang baik agar tidak cepat rusak, tahan terhadap pengaruh cuaca, adhesi dan kohesi yang baik, serta kekerasan yang memberikan sifat elastis yang baik.

1. Daya Tahan (*durability*)

Kemampuan aspal untuk bertahan terhadap pengaruh cuaca selama masa pelayanan jalan disebut daya tahan aspal. Sifat ini tergantung pada jenis dan ukuran agregat, komposisi campuran aspal, faktor pelaksanaan, dan lain sebagainya. Namun, sifat ini bisa diprediksi melalui pengujian *Thin Film Oven Test (TFOT)*.

2. Adhesi dan Kohesi

Adhesi adalah kemampuan aspal untuk membentuk ikatan kuat antara agregat dan aspal. Kohesi mengacu pada kemampuan aspal untuk mempertahankan agregat pada tempatnya setelah terjadi pengikatan antara aspal dan agregat.

3. Kepekaan Terhadap Temperatur

Aspal merupakan bahan termoplastik yang akan mengeras atau mengental saat suhu meningkat, sifat ini dikenal sebagai kepekaan terhadap perubahan temperatur. Kepekaan terhadap suhu berbeda-beda pada setiap produksi aspal tergantung pada asalnya, meskipun memiliki jenis yang sama.

4. Kekerasan Aspal

Proses pencampuran aspal melibatkan pemanasan dan pencampuran dengan agregat, yang kemudian dilapisi dengan aspal panas dan di siramkan ke permukaan agregat pada proses *paving*. Selama pelaksanaan, terjadi oksidasi yang menyebabkan viskositas aspal meningkat. Setelah masa pelaksanaan, peristiwa perapuhan terus berlangsung. Selama masa pelayanan aspal akan mengalami oksidasi dan polimerisasi yang dipengaruhi oleh ketebalan aspal yang meliputi agregat. Semakin tipis lapisan aspal, maka semakin besar tingkat kerapuhan yang terjadi.

2.6.4 Pemeriksaan Karakteristik Aspal

Pemeriksaan aspal perlu dilakukan untuk menentukan sifat fisik dan kimiawi aspal. Secara garis besar sesuai tujuannya pemeriksaan aspal dapat dikelompokkan menjadi 5 bagian pengujian, antara lain:

1. Pengujian Penetrasi Aspal;
2. Pengujian Titik Lembek Aspal;
3. Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal;
4. Pengujian Berat Jenis Aspal;
5. Pengujian Daktilitas Aspal;

Dari pengelompokan tersebut maka dapat dilakukan beberapa pemeriksaan karakteristik aspal antara lain adalah sebagai berikut:

1. Penetrasi Aspal

Penetrasi aspal bertujuan untuk menentukan kekerasan relatif atau fisik suatu semen aspal, dengan jalan mengukur jarak tembus sebuah jarum *standard* tegak lurus. Pengujian ini menggunakan acuan SNI 2456-2011 Cara Uji Penetrasi Aspal.

2. Titik Lembek Aspal

pengujian titik lembek aspal bertujuan untuk menentukan titik lembek aspal dimana bola baja jatuh dari cincin aspal menyentuh dasar pelat atau dasar bejana gelas dengan ketinggian tertentu. Pengujian ini menggunakan acuan SNI 2434-2011 Cara Uji Titik Lembek Aspal dengan alat Cincin dan Bola (*Ring and Ball*).Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal.

3. Titik Nyala dan Titik Bakar

Titik nyala dan titik bakar aspal bertujuan untuk mengetahui temperatur di mana aspal mulai menyala, dan temperatur dimana aspal mulai terbakar. Pengujian ini menggunakan acuan SNI 2433-2011 Cara Uji Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal dengan Alat *Cleveland Open Cup*.

4. Berat Jenis Aspal

Pengujian berat jenis aspal bertujuan untuk mengetahui berat jenis aspal keras yang terdapat di laboratorium. Besarnya berat jenis aspal penting dalam perencanaan campuran agregat dan aspal, karena digunakan untuk menentukan

kadar aspal dalam suatu campuran. Pengujian ini menggunakan acuan SNI 2441-2011 Cara Uji Berat Jenis Aspal Keras.

5. Daktilitas Aspal

Pengujian daktilitas aspal bertujuan untuk menentukan nilai dari keplastisan suatu aspal apabila nanti hendak digunakan dalam campuran material perkerasan. Pengujian ini menggunakan acuan SNI 2432-2011 Cara Uji Daktilitas Aspal.

2.7 Beton Aspal Campuran Panas (*Hot Mix*)

Menurut (Sukirman, 1999), aspal beton campuran panas merupakan salah satu jenis dari lapis perkerasan konstruksi perkerasan lentur. Jenis perkerasan ini merupakan campuran merata antara agregat dan aspal sebagai bahan pengikat pada suhu tertentu. Untuk mengeringkan agregat dan mendapatkan tingkat kecairan yang cukup dari aspal sehingga diperoleh kemudahan untuk mencampurnya, maka kedua material harus dipanaskan dulu sebelum dicampur. Karena dicampur dalam keadaan panas maka sering kali disebut sebagai *hot mix*. Ada beberapa Jenis beton aspal campuran panas yang saat ini diterapkan di Indonesia salah satunya adalah laston (lapisan aspal beton), adalah beton aspal yang umum digunakan untuk jalan-jalan dengan beban lalu lintas 1 – 10 juta ESA karakteristik beton aspal yang terpenting pada campuran ini adalah stabilitas.

2.7.1 Karakteristik Beton Aspal

Menurut (Sukirman, 2016), Ada tujuh ciri yang harus dimiliki oleh campuran beton aspal, yaitu stabilitas, daya tahan atau durabilitas, fleksibilitas atau kelenturan, ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*), tahan terhadap gesekan atau kekesatan permukaan, kedap air, dan mudah untuk diaplikasikan.

1. Stabilitas

Stabilitas adalah Ketahanan perkerasan jalan terhadap beban kendaraan adalah faktor penting dalam menentukan keberhasilan konstruksi jalan. Stabilitas perkerasan jalan mengacu pada kemampuan jalan untuk menahan deformasi permanen seperti gelombang, alur, dan bleeding. Kebutuhan akan stabilitas

perkerasan jalan ditentukan oleh volume dan jenis kendaraan yang akan melalui jalan tersebut. Jalan yang melayani volume lalu lintas tinggi dengan kendaraan berat memerlukan perkerasan jalan yang stabil dan kuat. Sedangkan perkerasan jalan yang hanya melayani kendaraan ringan dapat memiliki stabilitas yang lebih rendah.

2. Durabilitas

Keawetan atau durabilitas adalah kemampuan untuk menerima beban lalu lintas berulang seperti berat kendaraan dan gesekan antara roda kendaraan dan permukaan jalan, serta memiliki ketahanan terhadap pengaruh iklim seperti udara, air, atau perubahan temperatur. Durabilitas beton aspal dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti ketebalan selimut aspal, jumlah pori dalam campuran, kepadatan dan kemampuan kedap air campuran.

3. Fleksibilitas

Kelenturan atau fleksibilitas adalah kemampuan beton aspal untuk menyesuaikan diri akibat penurunan (*konsolidasi/settlement*) dan pergerakan dari pondasi atau tanah dasar, tanpa terjadi retak. Penurunan terjadi akibat berat sendiri tanah timbunan yang dibuat diatas tanah asli. Fleksibilitas dapat ditingkatkan dengan mempergunakan agregat bergradasi terbuka dengan kadar aspal yang tinggi.

4. Ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*)

Ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*) adalah kemampuan beton aspal menerima lendutan berulang akibat repitisi beban, tanpa terjadinya kelelahan berupa alur dan retak. Hal ini dapat tercapai jika mempergunakan kadar aspal yang tinggi.

5. Kekesatan/tahanan geser (*skid resistance*)

Kekesatan/tahanan geser (*skid resistance*) adalah kemampuan permukaan beton aspal terutama pada kondisi basah, memberikan gaya gesek pada roda kendaraan sehingga kendaraan tidak tergelincir, ataupun *slip*. Berikut adalah faktor-faktor yang mempengaruhi kekesatan jalan yaitu:

- a. Kekasaran permukaan dari butir-butir. Dalam hal ini agregat yang digunakan tidak hanya mempunyai permukaan yang kasar, tetapi juga mempunyai daya tahan.
- b. Luas bidang kontak antar butir atau bentuk butir.
- c. Gradasi agregat.
- d. Kepadatan campuran.
- e. Tebal film aspal.
- f. Ukuran maksimum butir agregat.

6. Kedap air

Kedap air adalah kemampuan beton aspal untuk tidak dapat dimasuki air ataupun udara ke dalam lapisan beton aspal. Air dan udara dapat mengakibatkan percepatan proses penuaan aspal, dan pengelupasan *film*/selimut aspal dari permukaan agregat. Jumlah pori yang tersisa setelah beton aspal dipadatkan dapat menjadi indikator kedap air campuran. Tingkat impermeabilitas beton aspal berbanding terbalik dengan tingkat durabilitasnya.

7. Kemudahan Pelaksanaan (*workability*)

Mudah dilaksanakan (*workability*) adalah kemampuan campuran beton aspal untuk mudah dihamparkan dan dipadatkan. Tingkat kemudahan dalam pelaksanaan, menentukan tingkat efisiensi pekerjaan. Faktor yang mempengaruhi tingkat kemudahan dalam proses penghamparan dan pemadatan adalah :

- a. *Viscositas* aspal
- b. Kepekaan aspal terhadap perubahan temperatur

Gradasi dan kondisi agregat Revisi atau koreksi terhadap rancangan campuran dapat dilakukan jika ditemukan kesukaran dalam pelaksanaan.

2.7.2 Persyaratan Campuran Aspal Beton

Sifat – sifat campuran aspal beton, yang akan digunakan dalam penelitian dan apa saja yang digunakan dalam menentukan batas-batas spesifikasi dari hasil pengujian benda uji, ketentuan sifat-sifat campuran aspal beton, dan sifat – sifat campuran laston modifikasi dapat dilihat pada Tabel 2.9 sebagai berikut :

Tabel 2. 9 Ketentuan sifat-sifat campuran laston (AC-WC)

Sifat-sifat Campuran		Laston AC-WC	
		AKAP PG 76	PEN 60/70
Jumlah tumbukan per bidang	Batasan	75	75
Rasio partikel lolos ayakan 0,075mm dengan kadar aspal efektif	Min	1,0	1,0
	Maks	1,4	1,2
Rongga dalam campuran (%)	Min	3	3
	Maks	5	5
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min	15	15
Rongga terisi aspal (%)	Min	65	65
Stabilitas Marshall (kg)	Min	1200	800
Pelelehan (mm)	Min	2	2
	Maks	4	4
Stabilitas Marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam 60° C	Min	90	90
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal)	Min	2	2
Stabilitas dinamis, lintasan/mm	Min	3500	2500

Sumber: Kementerian PUPR (Spesifikasi Umum Bina Marga 2018) dan : Spesifikasi Khusus Interim 2015 Skh- 6.6.3.1 campuran Aspal Beton dengan Aspal Modifikasi PG-76)

2.8 Metode Marshall

2.8.1 Karakteristik Marshall

Pengujian *Marshall* pada campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)* ini digunakan untuk mencari data dari persyaratan campuran dan memperoleh hasil perhitungan akhir dari sifat-sifat *Marshall*, seperti :

1. Volume Pori Beton Aspal Padat *Void In Mix (VIM)*

VIM adalah volume pori yang masih tersisa setelah campuran beton aspal dipadatkan. VIM juga mempunyai arti banyak pori di antara butir-butir agregat yang diselimuti aspal. VIM ini dibutuhkan untuk tempat bergesernya butir-butir agregat, akibat pemadatan tambahan yang terjadi oleh repetisi beban lalu lintas atau tempat jika aspal menjadi lunak akibat meningkatnya temperatur. VIM yang terlalu besar mengakibatkan beton aspal padat kurang ke hadapan airnya, sehingga berakibat meningkatnya proses oksidasi aspal yang dapat mempercepat penuaan aspal dan menurunkan sifat durabilitas beton aspal. VIM yang terlalu kecil akan mengakibatkan perkerasan mengalami *bleeding* jika temperatur meningkat. Kecenderungan bentuk lengkung hubungan antara kadar aspal dan VIM akan

terus menurun dengan bertambahnya kadar aspal sampai secara ultimit mencapai nilai minimum.

2. Volume Pori Di Antara Butir Agregat Campuran *Void In The Mineral Aggregate* (VMA)

VMA merupakan volume pori di dalam beton aspal padat jika seluruh selimut aspal ditiadakan. Tidak termasuk di dalam VMA volume pori di dalam pori masing-masing butir agregat. VMA akan meningkat jika selimut aspal lebih tebal, atau agregat yang digunakan bergradasi terbuka. Kecenderungan bentuk lengkung hubungan antara kadar aspal dan VMA akan turun sampai mencapai minimum dan kemudian kembali bertambah dengan bertambahnya kadar aspal.

3. Volume Pori Beton Aspal Padat Yang Terisi Oleh Aspal *Volume Of Voids Filled With Asphalt* (VFA)

Banyaknya pori di antara butir agregat di dalam beton aspal padat, yang terisi oleh aspal dinyatakan sebagai VMA. Persentase pori antara butir agregat yang terisi aspal dinamakan VFA. Jadi, VFA adalah bagian dari VMA yang terisi oleh aspal, tidak termasuk di dalamnya aspal yang terabsorpsi oleh masing-masing butir agregat. Dengan demikian, aspal yang mengisi VFA adalah aspal yang berfungsi untuk menyelimuti butir-butir agregat di dalam beton aspal padat atau dengan kata lain VFA inilah yang merupakan persentase volume beton aspal padat yang menjadi *film* atau selimut aspal.

4. Stabilitas

Pengujian nilai stabilitas adalah kemampuan maksimum beton aspal padat menerima beban sampai terjadi kelelahan plastis. Pemeriksaan stabilitas diperlukan untuk mengukur ketahanan benda uji terhadap beban. Nilai stabilitas merupakan nilai arloji pengukuran yang dikalikan dengan nilai kalibrasi *proving ring* dan dikoreksi dengan angka koreksi akibat variasi ketinggian benda uji. Kecenderungan bentuk lengkung hubungan antara kadar aspal dan stabilitas akan meningkat jika kadar aspal bertambah, sampai mencapai nilai maksimum dan setelah itu nilai stabilitas akan menurun.

5. Kelelehan (*flow*)

Pengujian kelelehan adalah besarnya perubahan bentuk plastis dari beton aspal padat akibat adanya beban sampai batas keruntuhan. *Flow meter* mengukur besarnya deformasi yang terjadi akibat beban. Kecenderungan bentuk lengkung hubungan antara kadar aspal dan *flow* akan terus meningkat dengan meningkatnya kadar aspal.

6. *Marshall Quotient*

Marshall Quotient merupakan hasil bagi *Marshall* dengan *flow*. Nilai *flow* menggambarkan nilai fleksibilitas dari campuran. Semakin besar nilai MQ berarti campuran semakin kaku dan sebaliknya semakin kecil nilai MQ, maka campuran semakin lentur. Faktor-faktor yang mempengaruhi hasil bagi *Marshall* yaitu nilai stabilitas dan *flow*, penetrasi, viskositas aspal, kadar aspal campuran, bentuk dan tekstur permukaan agregat, gradasi agregat.

Adapun Parameter yang digunakan pada beton aspal adalah sebagai berikut:

1. V_{mb} = volume bulk aspal padat
2. VMA = volume rongga di antara butir agregat campuran, dalam beton aspal padat, termasuk yang terisi oleh aspal, (*Void in the Mineral Aggregate*)
3. VIM = volume rongga aspal padat (*Void In Mix*)
4. VFA = volume rongga aspal padat yang terisi oleh aspal (*Volume of voids Filled with Asphalt*)

Adapun perhitungan yang biasa digunakan pada campuran aspal beton adalah:

1. Berat Jenis Bulk Aspal Padat (G_{mb})

Berat jenis *bulk* aspal padat (G_{mb}) menggunakan hukum Archimedes, yaitu :

$$G_{mb} = \frac{B_k}{B_{ssd} - B_a}$$

Keterangan :

G_{mb} = Berat jenis *bulk* dari beton aspal padat

B_k = Berat kering beton aspal padat, gram

B_{ssd} = Berat kering permukaan dari beton aspal padat, gram

B_a = Berat beton aspal padat di dalam air, gram

$B_{ssd} - B_a$ = Volume *bulk* aspal padat, jika berat jenis air diasumsikan = 1

2. Berat Jenis Maksimum Beton Aspal Yang Belum Dipadatkan (G_{mm})

Berat jenis campuran beton aspal tanpa ada udara, yang didapatkan dari pemeriksaan di laboratorium.

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}} \%$$

Keterangan :

- G_{mm} = Berat jenis maksimum campuran
- P_b = Jumlah aspal, % terhadap total berat campuran
- P_s = Jumlah agregat, % Terhadap total berat campuran
- G_b = Berat Jenis aspal
- G_{se} = Berat Jenis efektif agregat

3. Perhitungan Jumlah Aspal Yang Terserap

$$P_{ba} = 100 \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} \cdot G_{se}} \cdot G_b \%$$

Keterangan :

- P_{ba} = Aspal yang terserap, % berat terhadap agregat
- G_{sb} = Berat jenis *bulk* agregat
- G_{se} = Berat jenis spesifik agregat
- G_b = Berat jenis aspal

4. Perhitungan Efektif Jumlah Aspal dalam Campuran

$$P_{be} = \frac{P_{ba}}{100} \cdot P_s$$

Keterangan :

- P_{be} = Jumlah aspal efektif, % terhadap total berat campuran
- P_b = Jumlah aspal, % terhadap berat total campuran
- P_{ba} = Aspal yang terserap, % berat terhadap berat agregat
- P_s = Jumlah agregat, % terhadap total berat campuran

5. Rongga di dalam campuran (VIM)

Void In the Mix merupakan banyaknya pori di antara butir-butir agregat yang diselimuti aspal. VIM dinyatakan dalam persentase terhadap volume beton aspal padat.

$$VIM = \frac{Gmm - Gmb}{Gmm}$$

Keterangan :

VIM = Rongga di dalam campuran aspal, persen terhadap volume total campuran

Gmm = Berat jenis maksimum campuran

Gmb = Berat jenis *bulk* campuran

6. Rongga diantara mineral agregat (VMA)

Voids in the mineral aggregate merupakan banyaknya pori diantara butir-butir agregat di dalam beton aspal padat, dinyatakan dalam persentase.

$$VMA = 100 - \frac{Gmb \times Ps}{Gsb}$$

Keterangan :

Gmb = Berat jenis *bulk* campuran

Gsb = Berat jenis afektif agregat

Ps = Jumlah agregat, % terhadap total berat campuran

7. Rongga terisi aspal (VFA)

Void Filled with Asphalt merupakan bagian dari VMA yang terisi oleh aspal, namun tidak termasuk didalamnya aspal terabsorpsi oleh masing-masing butir agregat. Maka VFA merupakan persentase volume beton aspal yang menjadi selimut aspal. Perhitungan dilakukan berdasarkan volume beton aspal padat.

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

Keterangan :

VFA = Pori antar butir agregat yang terisi aspal % dari VMA

VMA = Pori antar butir agregat di dalam beton aspal padat, % dari volume beton *bulk* aspal padat

VIM = Pori dalam aspal padat, % dari volume beton *bulk* aspal padat

8. Berat jenis *bulk* agregat campuran (Gsb)

Agregat untuk beton aspal padat memiliki gradasi tertentu yang diambil dari pencampuran beberapa fraksi agregat di lokasi, sehingga agregat mempunyai berat jenis yang berbeda, maka untuk menghitung beton aspal padat membutuhkan berat jenis agregat campuran.

$$VMA = \frac{100}{\left(\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}\right)}$$

Keterangan :

P1, P2, ..., Pn = Persentase berat tiap jenis agregat

G1, G2, ..., Gn = Spesifikasi berat tiap jenis agregat

9. Berat Jenis Efektif agregat campuran (Gse)

Berat jenis maksimum dari beton aspal yang belum dipadatkan, Gmm, dapat ditentukan di laboratorium.

$$VMA = \frac{100}{\left(\frac{P_1}{G_{e1}} + \frac{P_2}{G_{e2}} + \dots + \frac{P_n}{G_n}\right)}$$

Keterangan :

P1, P2, ..., Pn = Persentase berat tiap jenis agregat

Ge1, Ge2, ..., Gn = Spesifikasi berat tiap jenis agregat

2.8.2 Pengujian *Marshall*

Metode *Marshall* pertama kali dikembangkan oleh Bruce Marshall yang merupakan seorang insinyur dan ahli material aspal bekerja sama dengan *The Mississippi State Highway Department*. Metode pengujian *Marshall* digunakan untuk mendapatkan nilai stabilitas (*stability*) dan kelelehan (*flow*) campuran beraspal. Maksud dari stabilitas adalah kemampuan suatu campuran beraspal untuk

menerima beban sampai terjadi alir (*flow*) yang dinyatakan dalam satuan kilogram. Sedangkan kelelahan (*flow*) dapat diartikan sebagai perubahan bentuk suatu campuran beraspal yang terjadi akibat suatu beban dan dinyatakan dalam satuan millimeter. Kemudian dari nilai stabilitas dan *flow* tersebut didapatkan rasio yang disebut sebagai *Marshall Quotient* (MQ). Nilai MQ menyatakan durabilitas dari suatu campuran beraspal.

Standar acuan yang digunakan untuk melaksanakan pengujian *Marshall* adalah ASTM D 6927-15. Metode pengujian tersebut kemudian diadaptasi dan distandarisasikan di dalam SNI 03-2489-1991. Melalui pengujian *Marshall*, nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) dari campuran beraspal dapat ditentukan. Dengan menggunakan nilai stabilitas, *flow*, MQ, dan hasil dari pengukuran volumetrik campuran beraspal yang terdiri dari rongga dalam campuran (VIM), rongga dalam mineral agregat (VMA), dan rongga terisi aspal (VFA), nilai KAO dapat diperoleh dengan menentukan batas atas dan batas bawah dari hubungan antara parameter-parameter tersebut dengan Kadar Aspal Rencana (KAR). Kemudian dari batas atas dan batas bawah tersebut ditentukan nilai tengahnya. Nilai tengah inilah yang menjadi nilai KAO dari campuran beraspal.

Alat *Marshall* merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan cincin pengujian (*proving ring*) berkapasitas 22,2 KN= (5000 lbf) dan *flow meter*. *Proving ring* digunakan untuk mengukur nilai stabilitas, sedangkan *flow meter* digunakan untuk mengukur kelelahan plastis atau *flow*. Benda uji untuk pengujian *Marshall* berbentuk silinder berdiameter 4 inci (=10,2 cm) dan tinggi 2,5 inci (=6,35 cm). Secara garis besar pengujian *Marshall* meliputi persiapan benda uji, penentuan berat jenis *bulk* dari benda uji, pemeriksaan nilai stabilitas dan *flow*, dan perhitungan sifat volumetrik benda uji.

2.8.3 Pengujian Perendaman *Marshall* (*Marshall Immersion*)

Pengujian perendaman *Marshall* atau disebut juga dengan *Marshall Immersion* bertujuan untuk mengidentifikasi tingkat ketahanan dari campuran beraspal ketika menerima beban berupa rendaman air dalam kondisi suhu yang tinggi. Tingkat ketahanan tersebut dinyatakan dengan nilai Indeks Kekuatan Sisa

(IKS) yang menjadi keluaran dari pengujian perendaman *Marshall*. Nilai IKS merupakan hasil persentase dari perbandingan antara nilai stabilitas pada saat benda uji campuran beraspal direndam dalam air dengan kondisi suhu 60°C selama 30 menit (kondisi standar) dan nilai stabilitas campuran beraspal ketika direndam dalam air selama 24 jam pada kondisi suhu yang sama. Nilai stabilitas yang didapatkan dari campuran beraspal yang direndam selama 24 jam tersebut dinyatakan juga sebagai nilai stabilitas sisa.

Syarat yang menandakan apakah suatu campuran beraspal memiliki kekuatan yang baik untuk menahan kerusakan yang ditimbulkan oleh rendaman air adalah memiliki nilai IKS minimum 90% yang tertuang dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Sampel yang diuji pada kondisi perendaman selama 24 jam harus ditutup menggunakan plastik agar air yang merendam tidak menguap dan menjadi berkurang. Jika air rendaman tersebut berkurang maka akan mengakibatkan benda uji tidak terendam dengan sempurna dan mengurangi keakuratan nilai stabilitas sisa yang didapatkan.