

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1 Aspal

Bitumen adalah zat perekat material (*viscous cementitious material*), berwarna hitam atau gelap, berbentuk padat atau semi padat, yang dapat diperoleh di alam ataupun sebagai hasil produksi. Bitumen dapat berupa aspal, tar, atau pitch. Aspal dapat diperoleh di alam atau residu dari pengilangan minyak bumi, tar adalah hasil kondensat dalam destilasi destruktif dari batubara, minyak bumi, kayu, atau material organik lainnya, sedangkan pitch diperoleh sebagai residu dari destilasi fraksional tar. Tar dan pitch tidak diperoleh di alam, namun merupakan produk kimiawi. Dari ketiga jenis bitumen tersebut di atas, hanya aspal yang umum digunakan sebagai bahan pembentuk perkerasan jalan, sehingga seringkali bitumen disebut sebagai aspal. (Sukirman, S., 2016)

Bahan dasar aspal adalah hidrokarbon yang umum disebut sebagai bitumen. Aspal yang umum dipergunakan saat ini terutama berasal dari salah satu hasil destilasi minyak bumi, saat ini mulai banyak pula digunakan aspal yang berasal dari pulau Buton. Sebagai salah satu material konstruksi perkerasan lentur, aspal merupakan salah satu komponen kecil, umumnya 4%-10% berdasarkan berat atau 10%-15% berdasarkan volume, tetapi merupakan komponen yang relative mahal (Sukirman, S., 2016).

2.1.1 Jenis Aspal

Berdasarkan tempat diperolehnya, aspal dibedakan dua yaitu aspal alam dan aspal minyak. Aspal alam yaitu aspal yang ditemui di alam dan digunakan sebagaimana diperolehnya atau dengan sedikit pengolahan, sedangkan aspal minyak adalah aspal yang merupakan residu di pengilangan minyak bumi. (Sukirman, S., 2016) yaitu :

1. Aspal Deposit alam adalah aspal yang ditemui di alam, dapat berbentuk batuan ataupun aspal alam. Batuan aspal adalah batuan yang mengandung

aspal di dalamnya, dapat digunakan sebagaimana adanya ataupun diolah terlebih dahulu.

2. Aspal minyak adalah aspal yang residu destilasi minyak bumi. Setiap minyak bumi dapat menghasilkan residu jenis asphaltic base crude oil yang banyak mengandung aspal, parafin base crude oil yang banyak mengandung parafin, atau mixed base crude oil yang mengandung campuran antara parafin dan aspal. Aspal minyak dalam penggunaannya dibagi menjadi beberapa jenis, antara lain (Sukirman, S., 2016):
 1. Aspal padat adalah aspal yang bentuknya padat atau semi padat pada suhu ruang, dikenal dengan nama semen aspal (*asphalt cement*). Di Eropa disebut bitumen, sedangkan di Amerika dikenal dengan nama *asphalt cement*. Semen aspal harus dipanaskan terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai bahan pengikat agregat. Aspal padat merupakan bagian utama dari residu minyak bumi, dan melalui proses lanjutan dapat diperoleh jenis aspal minyak yang lain.
 2. Aspal cair (*cutback asphalt*) yaitu aspal yang berbentuk cair pada suhu ruang. Aspal cair merupakan semen aspal yang dicairkan dengan bahan pencair dari hasil penyulingan minyak bumi seperti minyak tanah, bensin, atau solar. Bahan pencair membedakan aspal cair menjadi:
 - a) *Rapid curing cut back asphalt (RC)*, yaitu aspal cair dengan bahan pencair bensin. RC merupakan aspal cair yang paling cepat menguap.
 - b) *Medium curing cut back asphalt (MC)*, yaitu aspal cair dengan bahan pencair minyak tanah (kerosene).
 - c) *Slow curing cut back asphalt (SC)*, yaitu aspal cair dengan bahan pencair solar (minyak disel). SC merupakan aspal cair yang paling lambat menguap.
 3. Aspal emulsi (*emulsified asphalt*) adalah campuran aspal dengan air dan bahan pengemulsi, yang dilakukan di pabrik. Aspal emulsi ini lebih cair dari pada aspal cair. Di dalam aspal emulsi, butir-butir aspal yang larut dalam air. Untuk menghindari butiran aspal saling menarik membentuk butir-butir yang lebih besar, maka butiran tersebut diberi muatan listrik.

Berdasarkan muatan listrik yang dikandungnya, aspal emulsi dapat dibedakan atas:

- a) Aspal *kationik* disebut juga aspal emulsi asam, merupakan aspalemulsi yang butiran aspalnya bermuatan arus listrik positif.
- b) Aspal *anionik* disebut juga aspal emulsi alkali, merupakan aspalemulsi yang butiran aspalnya bermuatan negatif.
- c) *Nonionik* merupakan aspal emulsi yang tidak mengalami ionisasi, bearti tidak nengantarkan listrik.

Berdasarkan kecepatan mengerasnya, aspal emulsi dapat dibedakan atas:

- a) *Rapid Setting* (RS), aspal yang mengandung sedikit bahan pengemulsi sehingga pengikatan yang terjadi cepat, sehingga aspal cepat menjadipadat atau keras kembali.
- b) *Medium Setting* (MS)
- c) *Slow Setting* (SS), jenis aspal emulsi yang paling lambat mengeras.

Dari ketiga bentuk aspal, maka semen aspal adalah bentuk yang paling banyak digunakan.

2.1.2 Campuran Aspal Beton

Campuran aspal adalah kombinasi material bitumen dengan agregat yang merupakan permukaan perkerasan yang biasa dipergunakan akhir-akhir ini. Material aspal dipergunakan untuk semua jenis jalan raya dan merupakan salah satu bagian dari lapisan beton aspal jalan raya kelas satu hingga dibawahnya (Rian Putrowijoyo., 2006). Tujuh karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh beton aspal adalah stabilitas, keawetan atau durabilitas, kelenturan atau fleksibilitas, ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*), kekesatan permukaan atau ketahanan geser, kedap air, dan mudah untuk dilaksanakan (Sukirman, S., 2016):

1. *Stabilitas*

Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur, dan bleeding. Kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan fungsi jalan, dan beban lalu lintas yang akan dilayani. Jalan yang melayani volume lalu lintas tinggi dan dominan terdiri dari kendaraan berat membutuhkan perkerasan jalan dengan

stabilitas tinggi. Sebaliknya perkerasan jalan yang diperuntukan untuk melayani lalu lintas kendaraan ringan, tentu tidak memerlukan nilai stabilitas yang tinggi.

Faktor-faktor yang membentuk stabilitas beton aspal adalah:

- a) Gesekan internal berasal dari kekasaran permukaan butir agregat, luas bidang kontak antar butir, bentuk butir, gradasi agregat, kepadatan campuran, dan tebal film aspal. Stabilitas terbentuk dari gesekan internal yang terjadi di antara butir agregat yang saling mengunci. Rongga antar butir diisi oleh agregat berukuran lebih kecil.

Pemilihan agregat bergradasi baik atau rapat akan memperkecil rongga antara agregat, sehingga kepadatan dapat menghasilkan stabilitas yang diharapkan.

- b) Kohesi adalah gaya ikat aspal yang berasal dari daya lekatnya, sehingga mampu memelihara kontak antar butir agregat. Daya kohesi terutama ditentukan oleh penetrasi aspal, perubahan viskositas akibat temperatur, tingkat pembebanan, komposisi kimiawi aspal, efek dari waktu dan umur aspal. Sifat rheologi atau penuaan aspal menentukan kepekaan aspal untuk mengeras dan rapuh, yang akan mengurangi daya kohesinya.

2. Keawetan (*Durabilitas*)

Keawetan atau durabilitas adalah kemampuan beton aspal menerima repetisi beban lalu lintas seperti berat kendaraan, gesekan antara roda kendaraan dan permukaan jalan, serta menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim, seperti udara, air, atau perubahan temperatur. Durabilitas beton aspal dipengaruhi oleh tebalnya film atau selimut aspal, banyaknya rongga dalam campuran, kepadatan dan kedap airnya campuran. Selimut aspal yang tebal akan membungkus agregat secara homogen, sehingga beton aspal akan lebih kedap air.

Dengan demikian beton aspal memiliki kemampuan menahan keausan. Sebaliknya, semakin tebal selimut aspal mengakibatkan beton aspal semakin mudah bleeding (naiknya aspal kepermukaan jalan), yang mengakibatkan jalan semakin licin.

Banyaknya rongga yang tersisa dalam campuran setelah pemadatan, mengakibatkan durabilitas beton aspal menurun. Semakin besarrongga yang tersisa, beton aspal semakin tidak kedap air. Semakin banyak udara di dalam beton aspal, menyebabkan semakin mudahnya selimut aspal beroksidasi dengan udara, menjadi getas, dan durabilitasnya menurun.

3. Kelenturan (*Fleksibilitas*)

Kelenturan atau *fleksibilitas* adalah kemampuan beton aspal untuk menyesuaikan diri akibat penurunan pondasi (*settlement*), tanpa mengalami retak. Penurunan terjadi akibat repetisi beban lalu lintas, ataupun akibat berat sendiri tanah. Fleksibilitas dapat ditingkatkan menggunakan 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 repetisi beban lalu lintas, tanpa terjadinya kelelahan berupa alur dan atau retak. Hal ini dapat dicapai jika menggunakan kadar aspal yang tinggi.

5. Kekesatan atau Tanah geser (*Skid Resistance*)

Kekesatan atau tahanan geser (*skid resistance*) adalah kemampuan permukaan beton aspal memberikan gaya gesek pada roda kendaraan sehingga kendaraan tidak tergelincir ataupun slip terutama pada kondisi basah. Faktor-faktor untuk mendapatkan kekesatan jalan sama dengan untuk mendapatkan stabilitas yang tinggi, yaitu kekasaran permukaan butir agregat, luas bidang kontak antar butir, bentuk butir, gradasi agregat, kepadatan campuran, dan tebal film aspal. Ukuran maksimum butir agregat ikut menentukan kekesatan permukaan. Untuk itu agregat yang digunakan tidak saja harus

mempunyai permukaan yang kasar, tetapi juga mempunyai daya tahan sehingga permukaannya tidak mudah menjadi licin akibat repetisi kendaraan.

6. Kedap Air (*Impermeabilitas*)

Impermeabilitas adalah kemampuan beton aspal untuk tidak dapat dimasuki air ataupun udara ke dalam lapisan beton aspal. Air dan udara dapat mengakibatkan mempercepat proses penuaan aspal, dan pengelupasan film atau selimut aspal dari permukaan agregat. Jumlah rongga yang tersisa setelah beton aspal dipadatkan dapat Beton Aspal Campuran Panas 80 menjadi indikator kedap campuran. Tingkat impermeabilitas beton aspal berbanding terbalik dengan tingkat durabilitasnya.

7. Mudah dilaksanakan (*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 viskositas aspal, kepekaan aspal terhadap perubahan temperatur, dan gradasi serta kondisi agregat. Revisi atau koreksi terhadap rancangan campuran dapat dilakukan jika ditemukan kesukaran dalam pelaksanaan.

Ketujuh sifat campuran aspal beton ini tidak mungkin dapat dipenuhi sekaligus oleh satu campuran. Dalam perancangan tebal perkerasan harus diperhatikan sifat-sifat aspal beton yang dominan lebih diinginkan sehingga dapat ditentukan jenis beton aspal yang akan dipilih. Jalan yang melayani lalu lintas ringan seperti mobil penumpang sepantasnya lebih memilih jenis beton aspal yang mempunyai sifat durabilitas dan fleksibilitas yang tinggi daripada, memilih jenis beton aspal dengan stabilitas tinggi (Listiani, A., 2012).

Laston/*Asphalt Concrete* (AC) terbagi atas tiga lapisan antara lain :

a) AC-WC

Wearing Course atau lapis aus merupakan lapis diatas pondasi. AC-WC berfungsi sebagai lapis permukaan yang tahan cuaca, gaya geser dan tekanan roda serta memberikan lapis kedap air yang dapat melindungi lapis dibawahnya dari rembesan air.

b) Asphalt Concrete- Binder Course (AC-BC).

Binder Course atau lapis pengikat atau lapis antara merupakan lapis transisi antara lapis pondasi dengan lapis permukaan. AC-BC berfungsi sebagai lapis pengikat.

c) Asphalt Concrete- Base (AC-BC).

Berfungsi sebagai lapis pondasi jika dipergunakan pada pekerjaan peningkatan atau pemeliharaan jalan. Setiap jenis Campuran AC yang menggunakan aspal dimodifikasi dengan aspal Alam disebut masing-masing sebagai *AC-WC Modified*, *AC-BC Modified*, dan *AC-Base Modified*.

Bahan penyusun dari AC-WC yaitu aspal dan agregat, dimana agregat ini terdiri atas agregat kasar, agregat halus dan filler. Berikut ketentuan sifat campuran Laston. Ketentuan sifat-sifat campuran dapat dilihat pada **Tabel 2.1**.

Tabel 2.1 Ketentuan Sifat Campuran Lapisan Aspal Beton

Sifat-Sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Pondasi
Jumlah tumbukan per bidang		75		112
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm	min	0,6		
dengan kadar aspal efektif	maks	1,2		
Rongga dalam campuran (%)	min		3,0	
	maks		5,0	
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	min	15	14	13
Rongga terisi Aspal (%)	maks	65	65	65
Stabilitas Marshall (kg)	min	800		1800
Pelelehan (mm)	min	2		3
	maks	4		6
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam 60°C	min	90		
Rongga dalam campuran (%) pada kepatan membal (refusal)	min	2		

(Sumber: Rancangan Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan, Divisi VI Perkerasan Beraspal, Dep. PU, 2018)

2.1.3 Pemeriksaan Propertis Aspal

Pengujian aspal propertis dilakukan untuk dapat mengetahui apakah aspal yang digunakan memenuhi syarat yang ditentukan. Beberapa pengujian aspal propertis diantaranya : penetrasi, titik lembek, titik nyala dan titik bakar, berat jenis, kehilangan berat, daktilitas dan kelekatan aspal terhadap agregat.

1. Penetrasi

Tes penetrasi merupakan tes yang mudah dilakukan dan menggunakan peralatan yang sederhana/murah, sehingga digolongkan sebagai tes dasar yang harus dilakukan untuk menentukan kelas aspal, tes ini dilakukan dengan cara menuangkan aspal panas yang telah dipanaskan kedalam cawan, setelah itu rendam dalam bak perendam selama 1–1,5 jam. Kemudian Pengujian ini dilakukan dengan membebani permukaan aspal seberat 100 gram pada tumpuan jarum berdiameter 1 mm selama 5 detik pada temperature 25°C.

Besarnya penetrasi diukur dan dinyatakan dalam angka yang dikalikan dengan 0,1 mm.

2. Titik lembek

Tes titik lembek merupakan tes yang dianjurkan sebagai tes awal untuk penerimaan bahan aspal di lapangan. Aspal biasa memiliki nilai titik lembek di sekitar 48°C. Pengujian titik lembek dilakukan dengan melihat berapa waktu dan suhu yang dibutuhkan untuk bola baja mendorong aspal yang terletak di cawan cincin untuk menyentuh plat dasar. Hasil titik lembek digunakan untuk menentukan temperatur kelelahan dari aspal.

3. Berat jenis

Berat jenis adalah pemeriksaan berat jenis aspal yang akan menjadi penting untuk informasi selanjutnya dalam mencari besaran tes pada waktu pelaksanaan pekerjaan. Batasan minimal yang dicantumkan dalam spesifikasi syarat berat jenis di atas 1,0 gram/cc.

4. Titik Nyala dan Bakar

Titik Nyala dan Bakar adalah titik dimana aspal mulai terbakar dan akan mencair pada suhu lebih dari 232°C untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada

Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Ketentuan Aspal Modifikasi

No	Jenis Pemeriksaan	Unit	Metode Uji	Aspal 60/70		Aspal Modifikasi
				Min	Max	Min
1	Penetrasi 25 °C	0,1 mm	SNI 2456:2011	60	70	40
2	Titik Lembek	°C	SNI 2434:2011	≥48		≥54
3	Berat Jenis Aspal		SNI 2441:2011	≥1		≥1
4	Titik Nyala dan Bakar	°C	SNI 2433-2011	≥232		≥230
5	Daktilitas pada 25°C	cm	SNI 2432:2011	≥100		

(Sumber: Rancangan Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan, Divisi VI Perkerasan Beraspal, Dep. PU, 2018)

2.1.4 Aspal Modifikasi

Aspal modifikasi adalah aspal minyak yang ditambah dengan beberapa aditif, dengan maksud untuk meningkatkan kinerjanya. Aspal minyak yang ada di pasaran sekarang cenderung kehilangan beberapa sifat yang sangat dibutuhkan dalam fungsinya sebagai bahan pengikat agregat batuan pada lapis perkerasan. Awal kesadaran tentang hal itu adalah pelunakan akibat panas permukaan jalan yang jauh lebih tinggi dari apa yang dikenal di negara subtropik, yang beranggapan panas permukaan jalan tidak akan lebih dari 60°C (*Asphalt Institute, 1997*).

Berbagai cara dan jenis aditif dicoba untuk ditemukan agar titik lembek aspal yang ada di pasaran dapat dinaikkan dari 48°C menjadi paling tinggi 55°C, bahkan lebih tinggi untuk mengantisipasi permukaan beton aspal yang menderita panas permukaan tinggi, beban as berat, kendaraan berjalan lambat dan alur ban bergerak seperti berjalan di atas kereta api (kanalisasi). Pemakaian aditif untuk menaikkan titik lembek ternyata berakibat menurunnya angka penetrasi aspal, sehingga aspal menjadi kering dan keras, serta menyulitkan dalam pengerjaannya. Aditif lain harus ditemukan untuk mengembalikan kelas aspal menjadi 60/70 kembali agar tidak mudah mengalami *ageing* (penuan), batas terendah untuk angka penetrasi sementara ini disepakati tidak kurang dari 40. Kesulitan lain mulai tampak dengan terlihatnya secara nyata aspal modifikasi yang terbentuk dengan titik lembek tinggi dan penetrasi 40 sehingga kehilangan kelengketan. Kesulitan produksi akhirnya berujung dengan tidak selalu semua aditif yang ditambahkan itu dapat bekerja sama secara sinergi membentuk kesatuan dalam peningkatan kinerja aspal. Salah satu contoh aspal modifikasi adalah aspal modifikasi polimer (Listiani, A., 2012).

Penambahan bahan aditif polimer dalam jumlah kecil ke dalam aspal terbukti meningkatkan kinerja aspal dan memperpanjang umur kekuatan/masa layan perkerasan tersebut (Abinaya, S., 2016). Polimer juga dapat meningkatkan daya tahan perkerasan terhadap berbagai kerusakan, seperti deformasi permanen, retak akibat perubahan suhu, *fatigue damage* serta pemisahan/pelepasan material (Bani, M.B., 2016).

Substitusi *styrofoam* kedalam aspal dapat mengakibatkan menurunkan nilai penetrasinya dan aspal akan semakin keras dengan meningkatnya kadar *styrofoam* dalam aspal. Namun demikian nilai penetrasi yang dihasilkan masih memenuhi spesifikasi penetrasi aspal polimer yaitu pada rentang 50-70.

Menambahkan *styrofoam* ke dalam aspal cenderung menurunkan nilai daktilitasnya, dengan demikian penambahan *styrofoam* ke dalam aspal cenderung akan kehilangan sifat plastisnya. Namun demikian nilai daktilitas yang dihasilkan masih memenuhi spesifikasi daktilitas minimum sebesar 50,00 cm (Saleh, M.S., 2014). Ketentuan sifat-sifat campuran AC modifikasi dapat dilihat pada **Tabel 2.3**.

Tabel 2.3. Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston yang Dimodifikasi

Sifat-sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Fondasi
Jumlah tumbukan per bidang		75		112
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Min	0,6		
	Maks	1,2		
Rongga dalam campuran (%)	Min	3,0		
	Maks	5,0		
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min	15	14	13
Rongga terisi Aspal (%)	Maks	65	65	65
Stabilitas Marshall (kg)	Min	1000		2250
Pelelehan (mm)	Min	2		3
	Maks	4		6
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam 60°C	Min	90		
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal)	min	2		
Stabilitas Dinamis, lintasan/mm	Min	2500		

(Sumber : Rancangan Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan, Divisi VI Perkerasan Beraspal, Dep. PU, 2018)

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

- a) Cara basah (*wet process*) yaitu suatu cara pencampuran dimana *Styrofoam* dimasukkan kedalam sampai homogen. Cara ini membutuhkan tambahan dana cukup besar antara lain bahan bakar, mixer kecepatan tinggi sehingga aspal modifikasi yang dihasilkan harganya cukup besar bedanya dibandingkan dengan aspal konvensional.
- b) Cara kering (*dry process*) yaitu suatu cara pencampuran dimana *Styrofoam* dimasukkan kedalam agregat yang dipanaskan pada temperatur campuran, kemudian aspal panas ditambahkan. Cara ini lebih murah, dikatakan lebih murah karena tidak perlu ada aspal yang harus dikeluarkan dari tangki aspal di AMP apabila tangki aspal akan digunakan untuk keperluan pencampuran aspal dengan aspal konvensional. Selain lebih murah, carakering ini juga lebih mudah karena hanya dengan memasukkan *styrofoam* dalam agregat panas, tanpa membutuhkan peralatan lain untuk mencampur (*mixer*).

2.2 RAP (Reclaimed Asphalt Pavement)

RAP adalah material perkerasan yang mengandung aspal dan agregat yang sudah dibongkar dan tidak digunakan lagi (*Asphalt Institute*, 1986). Untuk penghematan bahan dan energi maka daur ulang (*recycling*) menjadi suatu pilihan yang menarik untuk merehabilitasi perkerasan (Arianto H., dkk 2019).

Pengolahan kembali material menjadi bahan pelapisan permukaan campuran perkerasan aspal baru *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) membutuhkan proses pengujian RAP dan aspal untuk mendapatkan kekuatan lapisan yang mempunyai nilai lebih dari kinerja fungsional jalan. Proporsi yang tepat diperlukan dalam pengujian laboratorium untuk menentukan komposisi aspal dan agregat yang cocok dan memiliki kekuatan dalam campuran. Semua pengujian campuran dirancang menggunakan prosedur kusus yang ditentukan dalam Spesifikasi Bina Marga, untuk menjamin bahwa rancangan yang berkenaan dengan kadar aspal yang sesuai, rongga udara yang cukup, stabilitas yang tinggi,

mempunyai kelenturan apabila mendapat beban dari lalu lintas yang melaluinya dan memiliki keawetan tinggi terhadap pengaruh rendaman air sekaligus cuaca.

Campuran yang mengandung RAP menunjukkan pengurangan yang lebih sedikit dalam kehilangan stabilitas dan kehilangan kekuatan tarik tidak langsung, meningkatkan ketahanan pengupasan, dan menunjukkan kinerja creep yang lebih baik daripada campuran yang dibuat sepenuhnya dari agregat segar dan aspal murni. Studi ini mengungkapkan bahwa campuran yang mengandung RAP mungkin memiliki umur kelelahan yang lebih pendek karena aspal tua yang ada dalam campuran melalui penggunaan RAP. Oleh karena itu, lebih disukai untuk menggunakan campuran yang mengandung RAP di daerah-daerah, di mana kelelahan bukanlah jenis tekanan utama yang diharapkan (Al-Rousan , Asi. I , Al-Hattamleh , & Al-Qablan 2008).

Tabel 2.1 Batasan Sifat Aspal RAP Hasil Pemulihan Yang Direkomendasikan Untuk Daur Ulang

Negara	Sifat aspal RAP	
	Penetrasi (dmm)	Titik lembek (°C)
Prancis	>5	<77
Belgia	>10	-
Inggris	>15	-
Jerman, Irlandia, Polandia, Portugal	>15	<70
Slovakia	-	<70

(Sumber: Nono 2015)

Pada **Tabel 2.4** terlihat bahwa untuk 5 negara (Inggris, Jerman, Irlandia, Polandia, Portugal) membatasi nilai penetrasi aspal >15 dmm, sedangkan untuk Belgia dan Perancis membatasi nilai penetrasi lebih rendah.

- Apabila digunakan secara tepat, recycling dapat menghemat biaya yang berartidibanding dengan penggunaan material baru.
- Membantu melakukan konservasi bahan alam dengan berkurangnya kebutuhan material baru.

- Dengan recycling maka dapat menjaga geometri perkerasan, karena tidakbertambahnya tebal perkerasan. Ketergangguan lalu lintas juga berkurang dibanding teknik rehabilitasi lainnya.

Penggunaan bahan daur ulang yang telah dikenal dengan beberapa teknik, yaitu daur ulang pelaksanaan di lapangan (in place) dan ditempat pencampur (in plant).

- Dilapangan (in place): Penggarukan, pembentukan dan pemadatan ditempat.
- Ditempat pencampur (in plant): Hasil garukan dibawa ke alat pencampur untukdiperbaiki propertiesnya. Ketebalan lapis perkerasan yang dibutuhkan dapatdisesuaikan.

Berdasarkan proses yang diadopsi dalam mendaur ulang campuran bitumen, dapat diklasifikasikan secara luas sebagai daur ulang pabrik pusat dan daur ulang in-situ. Jika RAP dimodifikasi di pabrik, jauh dari lokasi konstruksi maka prosesnya dikenal sebagai daur ulang pabrik pusat. Proses daur ulang in-situ RAP dimodifikasi di tempat, dari mana tersedia. Selanjutnya, RAP dapat dipanaskan untuk mengkondisikannya. Jika panas diterapkan maka proses ini dikenal sebagai daur ulang campuran panas. Dalam hal daur ulang campuran dingin, material lama dikondisikan menggunakan agen daur ulang (seperti, emulsi viskositas rendah) tanpa aplikasi panas (Aravind & Das 2014).

2.3 Agregat

Agregat adalah campuran dari kerikil, batu pecah dan material lainnya yang berasal dari bahan mineral alami atau batuan. Dalam struktur perkerasan jalan komponen agregat merupakan komponen utama dengan nilai persentase 90-95% berdasarkan persentase berat, atau 75-85% agregat berdasarkan persentase volume (Falderika, 2009). Menurut asalnya agregat dapat dibagi menjadi:

- a. Agregat alam (*natural aggregate*), langsung diambil dari alam tanpa melalui proses pengolahan khusus.
- b. Agregat dengan pengolahan (*manufacture aggregate*), berasal dari mesin pemecah dan penyaring batu untuk memperbaiki gradasi agregat agar sesuai dengan ukuran yang diinginkan

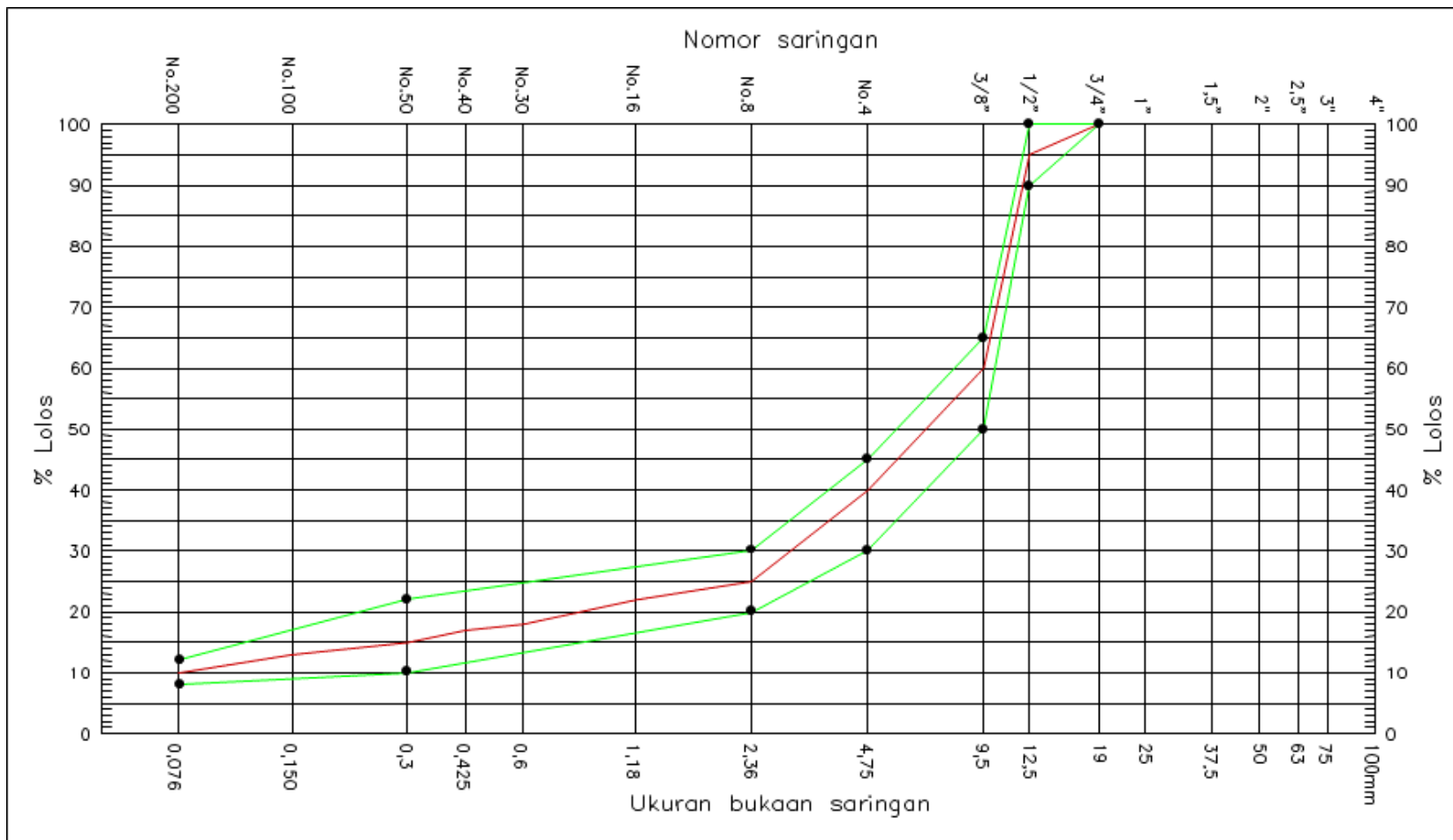
Berdasarkan butirannya agregat dapat dibedakan menjadi agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi (*filler*). Batasan dari masing-masing agregat ini sering kali berbeda, sesuai institusi yang menentukannya (Sukirman, 2016).

- a) Agregat kasar, adalah agregat dengan ukuran butir lebih besar dari saringan No.4 (= 4,75 mm) dan lebih kecil dari ayakan 1½ inci.
- b) Agregat halus, adalah agregat dengan ukuran butir lebih halus dari saringan No.4 (= 4,75 mm) dan maksimum yang lolos ayakan No.200 (=0,075 mm) adalah 10%.
- c) Bahan pengisi (*filler*), adalah bagian dari agregat halus yang lolos saringan No. 200 (= 0,075 mm) minimum 75%.

Tabel 2.5 Persyaratan Gradasi Agregat Campuran Laston

Ukuran Saringan		% Lolos		
		Laston AC		
No	Bukaan (mm)	AC-WC	AC-BC	AC-Base
3/2"	37,5			100
1"	25		100	90-100
¾"	19	100	90-100	Maks 90
½"	12,5	90-100	Maks 90	
3/8"	9,5	Maks 90		
No. 8	2,36	28-58	23-39	19-45
No. 16	1,18			
No. 30	0,6			
No. 200	0,075	4-10	4-8	3-7
Daerah Larangan				
No.4	4,75	-	-	39,5
No.8	2,36	39,1	34,6	26,5-30,8
No.16	1,18	25,6-31,6	22,3-31,6	18,1-24,1
No.30	0,6	19,1-23,1	16,7-20,7	13,6-17,6
No.50	0,3	15,5	13,7	11,4

(Sumber: Sukirman S., 2016)



Gambar. 1.1 Kurva Fuller

(Sumber: Falderika , 2009)

Ketentuan agregat kasar dan agregat halus menurut Rancangan Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan, Divisi VI untuk Campuran Beraspal Panas, Dep. PU, 2018 dapat dilihat pada **Tabel 2.6**, **Tabel 2.7** dan **Tabel 2.8**.

Tabel 2.6 Ketentuan Agregat Kasar untuk Campuran Beton Aspal

Pengujian		Metoda Pengujian	Nilai
Kekekalan Berbentuk Agregat terhadap larutan	Natrium Sulfat	SNI 3407:2008	Maks 12%
	Magnesium Sulfat		Maks 18%
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Campuran AC Modifikasi dan SMA	100 Putaran	Maks 6%
		500 Putaran	Maks 30%
	Semua Jenis campuran beraspal gradasi lainnya	100 Putaran	Maks 8%
		500 Putaran	Maks 40%
Kelekatan Agregat terhadap Aspal		SNI 2439:2011	Min 95%
Butir pecahan pada agregat kasar	SMA	SNI 7619:2012	100/90
	Lainnya		95/90
Partikel pipih dan lonjong	SMA	ASTM D4791-10 Perbandingan 1:5	Maks 5%
	Lainnya		Maks 10%
Material Lolos Ayakan No.200		SNI ASTM C117: 2012	Maks 1%

(Sumber: Rancangan Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan, Divisi VI Perkerasan Beraspal, Dep. PU, 2018)

Tabel 2.7 Ketentuan Agregat Kasar untuk Campuran Beton Aspal

Jenis Campuran	Ukuran nominal agregat kasar penampung dingin (<i>cold bin</i>) minimum yang diperlukan (mm)			
	5 - 8	8 - 11	11 - 16	16 - 22
<i>Stone Matrix Asphalt</i> - Tipis	Ya	Ya		
<i>Stone Matrix Asphalt</i> – Halus	Ya	Ya	Ya	
<i>Stone Matrix Asphalt</i> – Kasar	Ya	Ya	Ya	Ya
	5 - 10	10 - 14	14 - 22	22 - 23

Lataston Lapis Aus	Ya	Ya		
Lataston Lapis Fondasi	Ya	Ya		
Laston Lapis Aus	Ya	Ya		
Laston Lapis Antara	Ya	Ya	Ya	
Laston Lapis Fondasi	Ya	Ya	Ya	Ya

(Sumber: Rancangan Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan, Divisi VI Perkerasan Beraspal, Dep. PU, 2018)

Tabel 2.8 Ketentuan Agregat Halus untuk Campuran Beton Aspal

Pengujian	Metoda Pengujian	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 50%
Uji Kadar Rongga Tanpa Pematatan	SNI 03-6877-2002	Min. 45%
Gumpalan Lempung dan Butir-butir Mudah Pecah dalam Agregat	SNI 03-4141-1996	Maks. 1%
Agregat Lolos Ayakan No. 200	SNI ASTM C117:2012	Maks. 10%

(Sumber: Rancangan Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan, Divisi VI Perkerasan Beraspal, Dep. PU, 2018)

Pengujian agregat sangat diperlukan untuk mengetahui apakah memenuhi ketentuan yang telah ditetapkan atau tidak, serta untuk mengetahui kualitas agregat yang digunakan, karena pemilihan agregat yang tepat sangat mempengaruhi kualitas campuran. Pengujian agregat yang umum dilaksanakan antara lain: Ukuran butir, Gradasi, Kebersihan, Kekerasan, Bentuk partikel, Tekstur permukaan, Penyerapan, Kelekatan terhadap aspal. Tetapi pada penelitian ini hanya memeriksa analisa saringan, berat jenis agregatnya dan abrasi.

1. Analisa Saringan

Analisa saringan bertujuan untuk mengetahui ukuran butir dan susunan butiran tanah (gradasi) tertahan saringan nomor 200. Analisa saringan juga digunakan untuk perencanaan kombinasi agregat. Ukuran butiran tanah ditentukan dengan menyaring sejumlah tanah melalui seperangkat saringan yang disusun dengan lubang yang paling besar berada paling atas (Falderika, 2009)

2. Berat jenis

Di dalam rancangan campuran dibutuhkan parameter petunjuk berat, yaitu berat jenis agregat. Berat jenis agregat adalah perbandingan antara volume agregat dengan berat volume air. Agregat dengan berat jenis kecil mempunyai volume yang besar atau berat yang ringan (Falderika, 2009).

3. Abrasi

Abrasi adalah tes dasar untuk kekuatan batuan pendukung *matrix*, yang tidak mudah pecah (*overcompaction*) dan tidak mudah tergerus menjadi debu batu. Nilai ini diukur dengan mesin *Los Angles Abrasion Machine* yang berisi bola-bola besi, dimana contoh batuan diputar 400 kali di dalamnya. Perbedaan timbangan sebelum dan sesudah putaran disyaratkan maksimum hilang 30% untuk lapis permukaan dan 40% untuk lapis pondasi atas (Soehartono, 2014).

2.4 Polimer

Saat ini sudah banyak digunakan berbagai macam bahan tambah untuk meningkatkan mutu campuran aspal, antara lain dengan menambahkan polimer. Polimer dapat dibedakan menjadi dua jenis (Soehartono, 2014), yaitu :

1. Elastomer (Karet)

Elastomer atau karet adalah bahan aditif yang memiliki sifat lentur. Penambahan elastomer dapat meningkatkan titik leleh aspal hingga mencapai 60°C lebih tetapi tidak kehilangan daya lengket. Seiring dengan meningkatnya titik leleh, angka penetrasi menurun sehingga perlu tambahan aditif lain untuk meningkatkan angka penetrasi, seperti Styrene Butadiene Styrene (SBS), Styrene Butadiene Rubber (SBR) dan sebagainya.

2. Plastomer (Plastik)

Plastomer atau plastik merupakan kelompok *styrene*, yaitu bahan aditif yang berfungsi meningkatkan titik leleh dan kekentalan. Sama halnya dengan elastomer, plastomer juga dapat meningkatkan titik leleh hingga mencapai 55°C tetapi angka penetrasi menurun drastis. Pada **Tabel 2.8** dapat dilihat tipe-tipe polimer yang dicampur sebagai bahan aditif.

Salah satu jenis polimer yang digunakan adalah *styrofoam*. *Styrofoam* atau nama umumnya *thermoplastic* merupakan jenis plastik yang lazim digunakan untuk kemasan makanan dan minuman. *Styrofoam* terbagi menjadi 2 bagian yaitu *foamed Styrofoam* (FS), dan *Expanded Styrofoam* (EPS), atau disebut juga sebagai *styrofoam* busa, yang sehari-hari dikenal sebagai *styrofoam*. *Styrofoam* atau yang dikenal juga sebagai *expanded polysterene* dihasilkan dari *styrene* ($C_6H_5CH=CH_2$), yang mempunyai gugus *phenyl* (enamcincin karbon) yang tersusun secara tidak teratur sepanjang garis karbon dari molekul (Noris.G.T, 2016)

Tabel 2.9 Tipe-Tipe polimer

Tipe Polimer	Nama Umumnya	Keperluan Untuk Perkerasan
SBS (Styrene Butadiene Styrene)	Thermoplastic Rubber	Hotmix, Pengisian retak
EVA (Ethylene Vinyl Acetate)	Thermoplastic	Daya tahan terhadap alur, seal, retak
PolyEthylene;Polypropylene Polystrene	Thermoplastic	Daya tahan terhadap alur
SBR (Styrene Butadiene Rubber)	Karet Sintetis	Retak, alur
Karet Alam	Karet	Retak, alur

(Sumber : Pusat Penelitian Bangunan Jalan dan Jembatan, 2002)






Butiran resin polystyrene atau yang dikenal sebagai *Expanded Styrofoam* (EPS) diresapi oleh bahan pengembang (*blowing agent*). Produksi *Expanded Styrofoam* dimulai dari proses pengembangan, dimana butiran EPS akan mengembang setelah dipanaskan oleh uap dan proses molding (percetakan), kemudian butiran yang sudah melalui proses pengembangan tersebut akan dipanaskan lagi oleh steam supaya lebih mengembang lagi dan meyatukan masing-masing butirannya, dan membentuk produk busa yang diinginkan seperti *foamed Styrofoam*.





Gambar 2.2 Foamed Styrofoam
(Sumber :Pencacahan Barang Bekas)

kode jenis-jenis plastik dapat dilihat pada **Tabel 2.9**

Tabel 2.10 Kode Jenis Plastik

Jenis Polimer	Kode	Sifat	Penggunaan
Polietillen teraflalat (PET)		Jernih, kuat, tahan pelarut, kedap gas dan air, melunak pada 80°C	Botol minuman, minyak goreng, selai peanut butter, kecap dan sambal, try biscuit
High Density Polyethylene (HDPE)		Keras hingga semi fleksibel, tahan terhadap bahan kimia dan kelembaban, permeable terhadap gas, permukaan berkilin (waxy), buram (opaque), mudah diwarnai, diproses dan dibentuk, melunak pada 75°C	Botol susu cair dan juice, tutup plastik, kantong belanja dan wadah es krim
Poivinii Klorida (PVC)		Kuat, keras, bisa jernih, bentuk bisa diubah dengan pelarut, melunak pada suhu 80°C	Botol juice, air mineral, minyak sayur, kecap sambal, pembungkus makanan (food wrap)
Low Density Polyethylene (LDPE)		Mudah diproses, kuat, fleksibel, kedap air, permukaan berkilin, tidak jernih tapi tembus cahaya, melunak pada 70°C	Pot yoghurt, kantong belanja (kresek), kantong roti dan makanan segar, botol yang dapat ditekan
Polipropilen (PP)		Keras tapi fleksibel, kuat, permukaan berkilin, tidak jernih tapi tembus cahaya, tahan terhadap bahan kimia, panas dan minyak, melunak pada suhu 140°C	Pembungkus biskuit, kantong chips kentang, krat sereal, pita perekat kemasan dan sedotan

Polistiren (PS)		Jernih seperti kaca, kaku, getas, buram, terpengaruh lemak dan pelarut, mudah dibentuk, melunak pada suhu 95°C	Wadah makanan beku, sendok dan garpu
Polistiren Busa (EPS "Styrofoam")		Bentuk busa, ringan, getas, kaku, biasanya berwarna putih	Wadah makanan siap saji dan cup kopi
Lain-lain (Misalnya Polikarbonat)		Keras, jernih, tahan panas	Galon air mineral, botol susu bayi
Melamin-Formadehid (MF)	Tidak dapat didaur ulang (Termoset)	Keras, kuat, mudah diwarnai, bebas rasa dan bau, tahan terhadap pelarut dan noda, kurang tahan terhadap asam dan alkali.	Peralatan makan: gelas mangkok sendok dan Piring.

(Sumber : Badan Pengawas Obat dan Minuman, 2016)

Styrofoam mempunyai massa jenis antara 16-640 Kg/m³, dan memiliki titik leleh 100°C. *Styrofoam* memiliki daya proteksi yang baik terhadap uap air dan suhu, namun kurang baik terhadap gas lainnya seperti oksigen. *Styrofoam* memiliki sifat yang mudah diproses, kuat, fleksibel, kedap air, permukaan berkilau, melunak pada suhu 90°C. Karena sifatnya tersebut *Styrofoam* dapat dijadikan bungkus makanan, pembungkus alat elektronik, serta bahan untuk mendekorasi suatu ruangan (Abinaya, S., 2016).

Bahan dasarnya adalah polystyrene, yang merupakan plastik sangat ringan, kaku, tembus cahaya, dan murah. Hanya saja, kelemahannya adalah sifatnya yang rapuh (Listiani, A., 2012). Untuk menambah kekuatannya dicampurkan senyawa butadiene yang merupakan karet sintetis. Penambahan butadiene inilah yang menyebabkan polystyrene tidak jernih lagi dan berubah warna menjadi putih susu. Selain itu, untuk meningkatkan kelenturannya, ditambahkan juga zat *plasticizer*, seperti dioktiltalat (DOP), butyl hidroksi toluene (BHT), atau n-butyl stearate. Sedangkan istilah *foamed* berasal dari proses pembuatannya, yang salah satu tahapnya adalah peniupan, untuk membentuk struktur sel. Dalam proses peniupan ini digunakan gas *chlorofluorocarbon* (CFC).

Styrofoam begitu banyak dimanfaatkan dalam kehidupan, tetapi harus dibatasi agar tidak merugikan lingkungan. Pemanfaatan *Styrofoam* bekas untuk bahan aditif dalam pembuatan aspal polimer merupakan salah satu cara meminimalisir limbah tersebut (Abinaya, S., 2016).

2.5 Pengujian Marshall

Pengujian Marshall bertujuan untuk mengetahui karakteristik campuran beraspal dan kadar aspal optimum. Konsep ini dikembangkan oleh seorang insinyur bahan aspal bernama Bruce Marshall bersama dengan *The Mississippi State Highway Departement*. Penelitian ini kemudian dilanjutkan oleh *U.S. Army Corps of Engineers*. Pengujian ini mengacu pada AASHTO T 245-97 (2004). Pengujian ini bertujuan untuk menentukan stabilitas (*stability*) dan kelelahan (*flow*) dari campuran aspal dengan mengukur ketahanan campuran dan menentukan perubahan bentuk yang terjadi akibat beban lalu lintas.

Menurut Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi III Tahun 2010, nilai stabilitas minimal pada campuran beraspal adalah sebesar 800 kg dan besar nilai kelelahan sebesar 2-4 mm. Adapun parameter dari pengujian Marshall adalah:

a. Stabilitas Marshall

Stabilitas adalah beban yang dapat ditahan campuran beton aspal sampai terjadi kelelahan plastis atau dengan arti lain yaitu kemampuan lapis keras untuk menahan deformasi akibat beban lalu lintas yang bekerja di atasnya tanpa mengalami perubahan bentuk tetap seperti gelombang (*washboarding*) dan alur (*rutting*). Nilai stabilitas diperoleh berdasarkan nilai masing-masing yang ditunjukkan oleh jarum dial. Stabilitas merupakan parameter yang menunjukkan batas maksimum beban yang dapat diterima oleh suatu campuran beraspal saat terjadi keruntuhan yang dinyatakan dalam kilogram. Nilai stabilitas yang terlalu tinggi akan menghasilkan perkerasan yang terlalu kaku sehingga tingkat keawetannya berkurang.

b. *Flow* (kelelahan)

Flow adalah besarnya penurunan atau deformasi vertikal benda uji yang terjadi pada awal pembebanan sehingga stabilitas menurun, yang menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada lapis perkerasan akibat menahan beban yang diterima. Deformasi yang terjadi erat kaitannya dengan sifat-sifat Marshall yang lain seperti stabilitas, VIM dan VFA. Nilai VIM yang besar menyebabkan berkurangnya *interlocking resistance* campuran dan dapat berakibat timbulnya deformasi. Seperti halnya cara memperoleh

nilai stabilitas, nilai *flow* merupakan nilai dari masing-masing yang ditunjukkan oleh jarum dial. Hanya saja jarum dial *flow* biasanya dalam satuan mm (millimeter). Nilai *flow* dipengaruhi oleh kadar aspal, viskositas aspal, gradasi agregat, jumlah dan temperatur pemadatan.

c. *Density* (Kepadatan)

Density merupakan tingkat kerapatan campuran setelah campuran dipadatkan. Semakin tinggi nilai *density* suatu campuran menunjukkan bahwa kerapatannya semakin baik. Campuran dengan nilai *density* yang tinggi akan mampu menahan beban yang lebih besar dibanding dengan campuran yang dimiliki nilai *density* yang rendah, karena butiran agregat mempunyai bidang kotak yang luas sehingga gaya gesek (*friction*) antara butiran agregat menjadi besar. Nilai kepadatan/*density* dihitung dengan rumus berikut :

$$g = c / f \quad (2.1)$$

$$f = d - e \quad (2.2)$$

Keterangan:

g = Nilai kepadatan (gr/cc)

c = Berat kering/sebelum direndam (gr)

d = Berat benda uji jenuh air (gr)

e = Berat benda uji dalam air (gr)

f = Volume benda uji (cc)

d. Rongga Udara (VIM)

VIM adalah rongga yang masih tersisa setelah campuran aspal beton dipadatkan. VIM ini dibutuhkan untuk tempat bergesernya butir-butir agregat akibat pemadatan tambahan yang terjadi oleh repetisi beban lalu lintas, atau tempat jika aspal meleleh menjadi lunak akibat naiknya suhu udara. VIM yang semakin tinggi akan menyebabkan kelelahan yang semakin cepat, berupa alur dan retak. Hal ini mengakibatkan campuran aspal menjadi kurang rapat dan padat sehingga air dan udara gampang memasuki rongga-rongga pada campuran yang menyebabkan aspal mudah teroksidasi. Rongga udara campuran (V_a) atau VIM dalam campuran perkerasan beraspal terdiri

dari ruang udara diantara partikel agregat terlapisi aspal. Volume rongga udara dalam campuran dapat ditentukan dengan rumus berikut:

$$VIM = \left(100x \frac{Gmm - Gmb}{Gmm}\right) \% \quad (2.3)$$

Keterangan:

VIM = Rongga udara dalam campuran padat, persen total volume.

Gmm = Berat jenis maksimum campuran.

Gmb = Berat jenis curah campuran padat.

e. Hasil Bagi Marshall (*Marshall Quotient*)

Hasil Bagi Marshall merupakan hasil bagi stabilitas dengan kelelahan. Semakin tinggi nilai MQ, maka kemungkinan akan semakin tinggi kekakuan suatu campuran dan semakin rentan campuran tersebut terhadap keretakan sedangkan nilai MQ yang terlalu rendah dapat berakibat alur dan *bleeding*. Semakin besar nilai MQ berarti campuran aspal semakin kaku dan kurang lentur sehingga mudah retak sebaliknya bila semakin kecil nilainya maka campuran semakin lentur dan plastis sehingga mudah mengalami perubahan bentuk saat menerima beban lalu lintas yang tinggi.

$$\text{Marshall Quotient} = \frac{\text{stabilitas}}{\text{flow}} \quad (2.4)$$

f. Rongga Antar Agregat (VMA)

Rongga antar agregat (VMA) adalah ruang rongga diantara partikel agregat pada suatu perkerasan, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat). Kuantitas terhadap rongga udara berpengaruh terhadap kinerja suatu campuran karena jika VMA terlalu kecil maka campuran bisa mengalami masalah durabilitas, dan jika VMA terlalu besar maka campuran bisa memperlihatkan masalah stabilitas dan tidak ekonomis untuk diproduksi. Jika komposisi campuran

ditentukan sebagai persen berat dari campuran total, maka VMA dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$VMA = \left(100 - \frac{Gmb \times Ps}{Gsb}\right) \% \quad (2.5)$$

Keterangan:

VMA = Rongga dalam agregat mineral (persen volume curah)

Gsb = Berat jenis curah agregat

Ps = Agregat, persen berat total campuran

Gmb = Berat jenis curah campuran padat

g. *Void Filled With Asphalt (VFA)*

Void Filled With Asphalt (VFA) merupakan persentase rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan. Nilai VFA dipengaruhi oleh faktor pemadatan, yaitu jumlah dan temperatur pemadatan, gradasi agregat dan kadar aspal. Nilai VFA berpengaruh pada sifat kedekatan campuran terhadap air dan udara serta sifat elastisitas campuran. Dengan kata lain VFA menentukan stabilitas, fleksibilitas dan durabilitas. Semakin tinggi nilai VFA berarti semakin banyak rongga dalam campuran yang terisi aspal sehingga kedekatan campuran terhadap air dan udara juga akan semakin tinggi, tetapi nilai VFA yang terlalu tinggi akan menyebabkan *bleeding*. Nilai VFA yang terlalu kecil akan menyebabkan campuran kurang kedap terhadap air dan udara karena lapisan film aspal akan menjadi tipis dan akan mudah retak bila menerima penambahan beban sehingga campuran aspal mudah teroksidasi yang akhirnya menyebabkan lapis perkerasan tidak tahan lama.

Nilai VMA dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$VFA = \left(\frac{100 - (VMA - VIM)}{VMA} \right) \quad (2.6)$$

Keterangan :

VFA = Volume rongga antar butir agregat yang terisi aspal % dari VMA

VMA = Rongga dalam agregat mineral (persen volume curah)

VIM = Rongga udara dalam campuran padat, persen dari total volume.

- h. Berat jenis maksimum aspal beton yang belum didapatkan (G_{mm})
 Berat jenis maksimum dari campuran aspal beton yang belum didapatkan (G_{mm}) adalah berat jenis campuran aspal beton tanpa pori/udara, yang diperoleh dari pemeriksaan di laboratorium.

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_a}{G_a}} \quad (2.8)$$

Keterangan :

Ps = Kadar agregat, % terhadap berat aspal beton padat

Pa = kadar aspal terhadap berat aspal beton padat, %

Gse = berat jenis efektif dari agregat pembentuk aspal beton padat

Ga = berat jenis aspal

- i. Berat jenis bulk aspal beton padat (G_{mb})
 Berat jenis bulk dari aspal beton padat (G_{mb}) dapat diukur dengan menggunakan :

$$G_{mb} = \frac{B_k}{B_{ssd} - B_a} \quad (2.9)$$

Keterangan :

Gmb = berat jenis bulk dari aspal beton padat

Bk = Berat kering aspal beton

Bssd = berat kering permukaan dari aspal beton yang telah didapatkan

Ba = berat aspal beton padat di dalam air