

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

2.2.1. Penelitian Terdahulu

Dalam penelitian yang berjudul Pemanfaatan Karet Mentah pada *Flexible Pavement* Laston AC-WC dan Laston HRS-WC yang dilakukan oleh Pataras dkk. (2017) mengungkapkan bahwa meningkatnya beban lalu lintas mendorong terjadinya kerusakan dini berupa retak dan terjadinya deformasi pada perkerasan. Jalan didapatkan masih banyak kerusakan. Hal ini ditinjau dari sebagian macam faktor antara lain beban-beban kendaraan yang berlebih, kondisi Indonesia yang beriklim tropis membuat temperatur pada udara cukup tinggi, radiasi sinar matahari, curah hujan tinggi dan lain sebagainya, ataupun pengawasan yang kurang baik saat penghampanan lapis perkerasan dilapangan. Dari hal tersebut maka dilakukan penelitian untuk mengetahui karakteristik antara campuran laston AC-WC dan laston HRS-WC yang ditambahkan karet mentah atau lateks dengan metode *Marshall* dengan mengikuti prosedur SNI 06-2489-1991 atau AASHTO T245-90.

Penelitian ini menggunakan agregat kasar dari batu alam yang didapat dari mesin pemecah batu (*Stone Crusher*) dengan spesifikasi Bina Marga. Aspal penetrasi 60/70 dengan kadar aspal rencana 7,5% yang didapat dari perhitungan dengan metode Bina Marga dari metode *California* yang digunakan untuk menentukan kadar campuran aspal dan dengan kadar aspal rencana tersebut akan dicari perkiraan rentang kadar aspal sebagai acuan untuk mendapatkan nilai kadar aspal optimum. Karet alam atau lateks sebagai bahan tambah campuran dengan kadar 5%, 10%, dan 15%. Setelah benda uji campuran karet mentah atau lateks dicampur pada aspal AC-WC maka akan didapatkan hasil perbandingan dengan aspal AC-WC normal (Pataras dkk., 2017).

Hasil dari pengujian didapat kadar aspal optimum (KAO) sebesar 7,3% untuk HRS-WC sedangkan untuk AC-WC sebesar 6,25%. Selanjutnya hasil dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa pada untuk campuran aspal HRS-WC dengan kadar aspal optimum (KAO) sebesar 7,3% penambahan

lateks sebesar 5% memiliki nilai stabilitas yang paling tinggi jika dibandingkan dengan campuran aspal yang lain. Dengan kata lain penambahan karet mentah atau lateks dapat meningkatkan nilai stabilitas dari campuran aspal (Pataras dkk., 2017).

Penelitian tentang Studi Eksperimental Pengaruh Penambahan Zat Aditif Lateks Pada Beton Aspal Terhadap Stabilitas oleh Wijaya dkk. (2016) menyatakan bahwa perkerasan lentur merupakan yang banyak dipakai di daerah yang beriklim tropis. Demikian pula dengan perkerasan yang dipakai di Indonesia, lalu lintasnya banyak yang sudah memakai perkerasan lentur. Alasan pemilihan perkerasan lentur adalah pekerjaan yang cukup mudah dilaksanakan di lapangan, ketahanan atau stabilitas pada daerah yang beriklim ekstrim, seperti Indonesia, sangat baik dan dapat menyesuaikan dengan keadaan sekitar perkerasan.

Perkerasan lentur tidak terlepas dari ketahanan dan kesetabilan dalam menunjang beban dinamik yang terjadi pada jalan. Oleh karena itu, pencampuran aspal dengan bahan aditif dengan maksud dan tujuan yang berbeda-beda menurut masing-masing keperluan. Dilihat dari tujuannya yaitu untuk mengetahui pengaruh penambahan zat aditif lateks pada campuran beton aspal, mengetahui pengaruh kestabilan beton aspal setelah dicampur lateks. Manfaat dari penelitian tersebut apabila penelitian ini mencapai standar (stabilitas 1000 dan *flow* 3-5 mm), data penelitian dapat menjadi bahan pertimbangan penggunaan zat aditif pada perkerasan lentur dan menjadi dasar untuk meneliti kelebihan zat aditif lateks (Wijaya dkk., 2016).

Penelitian ini menggunakan aspal penetrasi 60/70 dengan Kadar Aspal Optimum (KAO) adalah 5,33% dengan penambahan zat aditif lateks sebesar 15%, 20%, dan 25%. Pengujian dilakukan dengan metode uji *Marshall*. Pembuatan benda uji dilakukan sesuai Standar Nasional Indonesia (SNI 06-2489-1991) (Wijaya dkk., 2016).

Hasil dari penelitian ini yaitu pengaruh yang diberikan lateks terhadap stabilitas lebih baik karena mengalami peningkatan hingga 1.354,23 kg yang melebihi spesifikasi standar, yaitu sebesar 35,42%. Pengaruh yang diberikan lateks terhadap *flow* juga cenderung baik karena melebihi nilai standar yaitu dicapai 5,30 mm di mana spesifikasi standar adalah 76,67%. Nilai VMA turun

23,23% dari kadar lateks 15%-25%, VIM turun 57,31% dari kadar lateks 15%-25% VFA naik 47,94% dari kadar lateks 15%-25%. Nilai *density* juga sangat baik karena kepadatan meningkat seiring bertambahnya kadar lateks yaitu 2,22 naik 11%. Pengaruh yang diberikan lateks terhadap *Marshall Quotient* juga baik (Wijaya dkk., 2016).

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Thanaya dkk. (2016) menggunakan bahan lateks dengan kadar variasi penambahan sebesar 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10% dari total berat bahan pengikat berupa aspal penetrasi 60/70 dengan pengujian karakteristik *Marshall*. Hasil dari pengujian aspal dengan variasi penambahan lateks sebesar 4% memenuhi semua spesifikasi.

Sambodo dan Rulhendri (2014) menyatakan bahwa penambahan lateks KKK-60 dengan campuran aspal konvensional dapat meningkatkan kualitas campuran beraspal. Metode pengujian pada penelitian ini adalah dengan karakteristi *Marshall*. Hasilnya dengan penambahan lateks KKK-60 sebesar 1% sampai 5% ke dalam aspal penetrasi 60, didapat variasi lateks 3% yang dapat memenuhi spesifikasi.

Prastanto dkk. (2018) menyatakan bahwa sifat fisik aspal modifikasi karet alam pada berbagai jenis dan dosis lateks karet alam. Dalam penelitian ini dilakukan di laboratorium dengan berbagai macam pengujian sifat fisik aspal. Hasil yang diperoleh lateks kationik (L2) pada dosis 5% terhadap bobot aspal penetrasi 60 adalah dosis yang digunakan karena meningkatkan titik lembek yang cukup baik.

Hermadi dan Ronny (2015) mengungkapkan bahwa penambahan lateks KKK-60 (Kadar Karet Kering 60) dengan variasi 0%, 1%, 3%, dan 5%. Aspal dan lateks dicampur pada suhu 110°C hingga tercampur rata atau homogen. Sifat reologi untuk masing-masing jenis aspal yang dimodifikasi dengan karet kemudian diuji pada tiga kondisi penuaan yaitu *fresh*, penuaan jangka pendek, dan penuaan jangka panjang. Hasil yang didapat lateks KKK-60 dapat meningkatkan sifat reologi dari aspal di antaranya lebih elastis, lebih kaku, lebih tahan terhadap *rutting*, dan lebih tahan terhadap retak. Tetapi peningkatannya relatif kecil pada aspal yang dimodifikasi lateks alam KKK-60 setelah terjadi penuaan jangka pendek jika dibandingkan dengan peningkatan pada aspal *fresh*.

NorFazira dkk. (2016) menyatakan bahwa dalam penelitiannya aplikasi karet alam untuk memodifikasi aspal. Dari hasil yang diperoleh bahwa karet alam lateks menunjukkan tingkat campuran yang baik. Yang ditunjukkan dari tingkat kompatibilitas dan interaksi antar polimer terhadap campuran aspal, yang dimaksudkan untuk meningkatkan kinerja dari bahan yang digunakan. Sehingga dapat meningkatkan kualitas aspal untuk konstruksi jalan.

Rosyad dkk. (2018) menyatakan dalam penelitiannya tentang aspal beton (AC-WC) yang dicampur dengan limbah karet untuk mengetahui pengaruh terhadap durabilitas dan fleksibilitas. Hasilnya bahwa pengaruh persentase limbah karet sebagai fraksi halus terhadap durabilitas yang dipengaruhi stabilitas *Marshall* sisa dan fleksibilitas dipengaruhi hasil nilai MQ.

Ludfi dkk. (2016) menyatakan dalam penelitiannya tentang penambahan zat aditif terhadap kinerja campuran beraspal porus. Hasil dari penelitian yang dilakukan dengan menambahkan zat aditif gilsonite dan lateks dapat meningkatkan nilai stabilitas *Marshall*. Peningkatan paling besar saat ditambahkan gilsonite, tetapi tidak terlalu signifikan untuk mengurangi kemampuan permeabilitas campuran. Sehingga campuran aspal porus dengan gilsonite dapat digunakan pada perkerasan rendah sampai sedang.

Krishnapriya M. G, (2015) menyatakan dalam penelitiannya tentang evaluasi sifat campuran aspal yang dimodifikasi dengan karet alam dan membandingkan dengan campuran aspal biasa. Aspal biasa digunakan penetrasi 80/100 dan untuk aspal modifikasi menggunakan penetrasi 60/70. Untuk aspal modifikasi ditambahkan 2% lateks karet alam dari beraat aspal. Kadar aspal yang digunakan adalah 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, 5,5%, dan 7%. Hasilnya diperoleh kadar aspal optimal pada aspal modifikasi dengan karet alam adalah 5% dan untuk aspal biasa adalah 5,5%. Maka aspal modifikasi dengan karet alam memiliki nilai stabilitas lebih tinggi dan nilai *flow* lebih rendah dari campuran aspal biasa.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Perkerasan Jalan

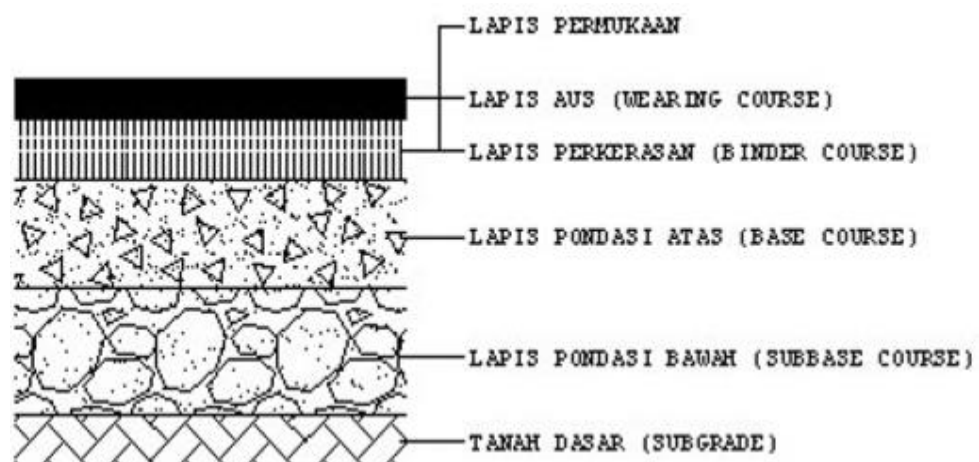
Perkerasan jalan merupakan campuran antara agregat dan bahan ikat yang digunakan untuk melayani beban lalu lintas, dengan agregat yang dipakai yaitu

batu pecah, batu belah, batu kali, dan hasil samping peleburan baja. Bahan ikat yang dipakai adalah aspal, semen, dan tanah liat (Tenriajeng, 2002). Menurut Sukirman (1999), berdasarkan bahan pengikatnya konstruksi perkerasan jalan dapat dibedakan sebagai berikut :

- a. Perkerasan lentur (*flexible pavement*), yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikatnya. Perkerasan ini sifatnya memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar.
- b. Perkerasan kaku (*rigid pavement*), yaitu perkerasan yang menggunakan semen (*portland cement*) sebagai bahan pengikatnya. Plat beton dengan atau tanpa tulangan diletakkan di atas tanah dasar dengan atau tanpa lapisan fondasi bawah. Beban lalu lintas sebagian besar dipikul oleh plat beton.
- c. Perkerasan komposit (*composite pavement*), yaitu perkerasan kaku yang dikombinasikan dengan perkerasan lentur, dapat berupa perkerasan lentur di atas perkerasan kaku atau sebaliknya.

2.2.2. Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)

Menurut Sukirman (1992), konstruksi perkerasan lentur terdiri dari lapisan-lapisan yang diletakkan di atas tanah dasar yang sudah dipadatkan. Lapisan-lapisan tersebut berfungsi untuk menerima beban lalu lintas dan menyebarkannya ke lapisan di bawahnya. Lapisan perkerasan lentur terdiri dari lapisan permukaan (*surface course*), lapisan pondasi atas (*base course*), lapisan pondasi bawah (*sub-base course*), dan lapisan tanah dasar (*subgrade*). Susunan lapis perkerasan lentur seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Lapis perkerasan lentur (Sukirman, 2003)

a. Lapisan permukaan (*surface course*)

Lapisan ini terletak paling atas biasa disebut lapisan permukaan (*surface course*) yang berfungsi :

- 1) Lapisan perkerasan penahan beban roda, mempunyai stabilitas tinggi untuk menahan beban roda selama masa pelayanan.
- 2) Lapis kedap air, sehingga air hujan yang jatuh di atasnya tidak meresap ke lapisan di bawahnya dan melemahkan lapisan-lapisan tersebut.
- 3) Lapis aus (*wearing course*), lapisan yang langsung menderita gesekan akibat rem kendaraan sehingga mudah menjadi aus.
- 4) Lapis yang menyebarkan beban ke lapisan bawah, sehingga dapat dipikul oleh lapisan lain yang mempunyai daya dukung yang lebih jelek.

b. Lapisan pondasi atas (*base course*)

Lapisan ini terletak di antara lapis pondasi bawah (*sub-base course*) dan lapis permukaan (*surface course*). Fungsi lapisan pondasi atas ini antara lain sebagai berikut :

- 1) Bagian perkerasan yang menahan gaya lintang dari beban roda dan menyebarkan beban ke lapisan di bawahnya.
- 2) Lapisan peresapan untuk lapisan pondasi bawah.
- 3) Bantalan terhadap lapisan permukaan.

Material yang digunakan untuk lapisan pondasi atas adalah material yang cukup kuat. Umumnya menggunakan material dengan CBR >50% dan *Plastisitas Indeks* (PI) <4%. Bahan-bahan alam seperti batu pecah, kerikil pecah, stabilisasi tanah dengan semen dan kapur dapat digunakan sebagai lapis pondasi atas.

c. Lapisan pondasi bawah (*sub-base course*)

Lapisan pondasi bawah merupakan lapis perkerasan yang terletak antara lapis pondasi atas (*base course*) dan tanah dasar (*subgrade*). Lapisan ini harus cukup kuat mempunyai CBR 20% dan *Plastisitas Indeks* (PI) ≤10%. Fungsi lapis pondasi bawah ini adalah sebagai berikut :

- 1) Bagian dari konstruksi perkerasan untuk menyebarkan beban roda ke tanah dasar.
- 2) Mengefisiensi penggunaan material, karena material pondasi bawah lebih murah dibandingkan dengan lapis perkerasan di atasnya, sehingga dapat mengurangi tebal lapisan di atasnya yang lebih mahal.
- 3) Sebagai lapis peresapan agar air tanah tidak menggenang di pondasi.
- 4) Sebagai lapis pertama agar proses pekerjaan dapat berjalan lancar.
- 5) Mencegah agar partikel-partikel dari tanah dasar tidak masuk ke lapis pondasi atas.

d. Lapisan tanah dasar (*subgrade*)

Tanah dasar dapat berupa tanah asli yang dipadatkan jika tanah aslinya baik, tanah yang didatangkan dari tempat lain dan dipadatkan atau tanah yang distabilisasi dengan kapur atau bahan lainnya. Pemasatan yang baik diperoleh jika dilakukan pada kadar optimum dan diusahakan kadar air tersebut konstan selama umur rencana. Kekuatan dan keawetan konstruksi perkerasan jalan sangat ditentukan oleh sifat-sifat daya dukung tanah dasar. Adapun masalah-masalah yang sering ditemui pada tanah dasar adalah :

- 1) Perubahan bentuk tetap dari jenis tanah tertentu akibat beban lalu lintas.
- 2) Sifat mengembang dan menyusut dari tanah tertentu akibat perubahan kadar air.
- 3) Daya dukung tanah dasar yang tidak merata pada daerah dengan macam tanah yang berbeda.
- 4) Daya dukung yang tidak merata akibat pelaksanaan yang kurang baik.
- 5) Perbedaan penurunan (*differential settlement*) akibat terdapat lapisan-lapisan tanah lunak di bawah tanah dasar akan mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk tetap.
- 6) Kondisi geologi akibat adanya patahan.

2.2.3. Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)

Asphalt Concrete merupakan campuran bergradasi menerus dari mineral agregat, pengisi dan bahan aspal yang membentuk stuktur saling kunci. Struktur saling kunci antar agregat ini adalah peyumbang utama terhadap kekuatan dan kinerja dari bahan yang digunakan (Laitinen, 1998). AC-WC merupakan lapisan perkerasan yang terletak di bagian paling atas yang berfungsi sebagai lapisan aus. Dalam Spesifikasi Umum Bina Marga Departemen Kementrian Pekerjaan Umum 2010 Revisi 3 *Asphalt Concrete* (AC) sering disebut aspal beton (Laston). Sesuai dengan fungsinya dibedakan menjadi tiga macam yaitu :

a. *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC)

Lapisan *Wearing Course* merupakan lapisan paling atas atau disebut juga lapisan aus. Fungsi lapisan ini sebagai lapis permukaan yang tahan cuaca, gaya geser dan tekan roda serta memberikan lapis yang kedap air sehingga dapat melindungi lapisan yang ada di bawahnya dari rembesan air. Tebal nominal minimum lapisan *Wearing Course* adalah 4 cm.

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

Lapisan *Binder Course* berfungsi sebagai lapis pengikat atau lapis antara yang merupakan lapis peralihan antara lapis pondasi dan lapis permukaan. Lapisan *Binder Course* tidak berhubungan langsung dengan cuaca, tetapi harus punya kestabilan dan ketebalan yang baik agar dapat meneruskan beban lalu lintas ke lapisan *Base*. Tebal nominal minimum lapisan *Binder Course* adalah 6 cm.

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

Lapisan *Base* merupakan lapis pondasi jika dipergunakan pada pekerjaan peningkatan dan pemeliharaan jalan. Tebal nominal minimum lapisan *Base* adalah 7,5 cm.

Setiap jenis campuran *Asphalt Concrete* (AC) yang menggunakan bahan aspal polimer atau aspal dimodifikasi dengan aspal alam disebut masing-masing sebagai *AC-WC Modified*, *AC-BC Modified*, dan *AC-Base Modified*. Bahan penyusun AC-WC adalah aspal, agregat kasar, agregat halus, dan *filler*. Menurut Sukirman (2003), karakteristik *Asphalt Concrete* (AC) adalah stabilitas, keawetan atau durabilitas, kelenturan atau fleksibilitas, ketahanan terhadap kelelahan

(*fatigue resistance*), kekesatan atau tahan geser (*skid resistance*), kedap air (*impermeabilitas*), dan mudah dilaksanakan (*workability*).

2.2.4. Agregat

Agregat merupakan suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa masa berukuran besar atau berupa fragmen-fragmen dan merupakan komponen utama dari lapis perkerasan 90%-95% berat, atau 75%-85% volume. Dengan demikian, daya dukung, keawetan, dan kualitas lapis perkerasan ditentukan oleh sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain (Sukirman, 2003).

Kerbs and Walker (1971) menyatakan bahwa dalam pemilihan jenis agregat yang sesuai untuk digunakan pada konstruksi perkerasan dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti gradasi, bentuk butir, kekuatan, tekstur permukaan, kelekatan terhadap aspal serta kebersihan dan sifat kimia. Daya tahan atau stabilitas perkerasan jalan dipengaruhi oleh jenis dan campuran agregat.

Menurut Bina Marga Revisi 3 (2010), klasifikasi agregat berdasarkan ukuran butirnya dibedakan menjadi 3 yaitu :

- a. Agregat kasar, adalah agregat dengan ukuran butir tertahan saringan No. 4 (4,75 mm). Untuk ketentuan dari agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Ketentuan Agregat Kasar (Bina Marga Revisi 3, 2010)

No.	Pengujian		Standar	Nilai
1.	Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	Natrium sulfat	SNI 3407-2008	Maks. 12%
		Magnesium sulfat		Maks. 18%
2.	Abrasi dengan mesin Los Angeles	Ac 100	SNI 2417-2008	Maks. 6%
		Modifikasi 500		Maks. 30%
		Semua 100		Maks. 8%
		Jenis Campuran an 500		Maks. 40%
		Putaran		

Tabel 2.1 Ketentuan Agregat Kasar (Lanjutan)

3.	Kelekatan agregat terhadap aspal	SNI 2439-2011	Min. 95%
4.	Butir pecah agregat kasar	SNI 7619-2012	95/90
5.	Partikel pipih dan lonjong	ASTM D4791 Perbandingan 1 : 5	Maks. 10%
6.	Material lolos ayakan No. 200	SNI 03-4142- 1996	Maks.2%

- b. Agregat halus, adalah agregat dengan ukuran butir lolos saringan No. 4 (4,75 mm). Untuk ketentuan dari agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Ketentuan Agregat Halus (Bina Marga Revisi 3, 2010)

No.	Pengujian	Standar	Nilai
1.	Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 60%
2.	Angularitas uji kadar rongga Gumpalan lempung dan butir-	SNI 03-6877-2002	Min. 45
3.	butir mudah pecah dalam agregat	SNI 03-4141-1996	Maks. 1%
4.	Agregat lolos ayakan No. 200	SNI ASTM C117- 2012	Maks. 10%

- c. Bahan pengisi (*filler*), adalah agregat halus yang 75% lolos saringan No. 200 (0,075 mm).

Menurut Sukirman (1992), agregat dengan sifat dan kualitas yang baik menentukan kekuatan untuk menerima beban lalu lintas dan menyalurkannya ke

lapisan di bawahnya. Hal ini menjadikan sifat agregat dapat menentukan kualitas bahan untuk konstruksi perkerasan jalan. Sifat agregat di antaranya sebagai berikut :

a. Gradasi

Gradasi merupakan bagian dari partikel-partikel berdasarkan ukuran agregat yang sangat penting untuk menentukan stabilitas perkerasan. Gradasi agregat diperoleh dari hasil analisa saringan dan sangat berpengaruh terhadap besar kecilnya rongga antar butir dapat menentukan stabilitas dan kemudahan proses pelaksanaan. Gradasi agregat dibedakan atas gradasi seragam (*uniform graded*), gradasi rapat (*dense graded*), dan gradasi jelek (*poorly graded*).

b. Keawetan (*soundness*)

Keawetan merupakan kemampuan bahan perkerasan untuk menahan keausan akibat pengaruh cuaca, air dan perubahan suhu, ataupun keausan akibat dari gesekan roda kendaraan, sehingga mengakibatkan perubahan pada bahan pengikat (bitumen) dan mengelupasnya selaput bitumen dari agregat dan kehancuran agregat.

c. Ukuran maksimum partikel agregat

Lapis perkerasan lentur menggunakan distribusi agregat dari yang besar sampai kecil. Jika semakin besar ukuran maksimum partikel agregat maka variasi ukuran agregat dari besar sampai kecil bertambah banyak. Batas ukuran maksimum adalah tebal lapisan yang direncanakan.

d. Bentuk dan tekstur agregat

Ditinjau dari bentuk dan tekstur agregat dapat berpengaruh terhadap stabilitas lapisan perkerasan. Partikel agregat dibedakan menjadi bulat (*rounded*), lonjong (*elongated*), kubus (*cubical*), pipih (*flaky*), dan tak beraturan (*irregular*).

e. Daya tahan agregat

Daya tahan agregat merupakan ketahanan suatu agregat untuk tetap mempertahankan kualitasnya atau tidak pecah/hancur walaupun mendapat pengaruh mekanis ataupun kimiawi. Agregat dapat mengalami degradasi, yaitu kehancuran agregat menjadi partikel-partikel kecil/halus akibat dari pengaruh mekanis, seperti dalam proses pelaksanaan (pencampuran,

pemadatan, dan mendapat beban lalu lintas selama masa pelayanan) dan pengaruh kimiawi, seperti keadaan alam (suhu dan kelembaban). Faktor yang mempengaruhi terjadinya degradasi adalah gradasi, jenis agregat, bentuk, ukuran partikel, dan pemadatan.

Ketahanan agregat terhadap penghancuran dapat diperiksa dengan menggunakan mesin Abrasi Los Angeles (*Abrasion Los Angeles Test*) berdasarkan SNI 2417-2008, PB-0206-76, AASHTO T96-7-(1982). Memasukan agregat sesuai dengan ketentuan bersama bola-bola baja lalu diputar dengan kecepatan 30 sampai 33 rpm selama 500 kali putaran. Hasil dinyatakan dengan perbandingan antara berat semula dengan berat tertahan saringan No. 12 dengan persentase minimal 40%.

f. Daya lekat terhadap aspal (*affinity for asphalt*)

Daya lekat aspal merupakan penyelimutan, penyerapan aspal oleh agregat. Faktor yang mempengaruhi lekatan aspal yaitu sifat mekanis (pori-pori dan absorpsi, bentuk dan tekstur permukaan, dan ukuran butir) dan sifat kimiawi dari agregat. Agregat seperti *diorit-andesit* bersifat *hydropobic*, merupakan agregat yang tidak mudah menyerap air sehingga agregat dengan aspal dapat terikat cukup baik. Menurut BSN (2008a), kelekatan agregat terhadap aspal dinyatakan dalam persentase luas permukaan agregat yang terselimuti aspal terhadap seluruh luas permukaan, yaitu nilai kelekatan minimal 95%.

g. Berat jenis

Berat jenis adalah perbandingan antara berat volume agregat dengan berat volume air. Perencanaan campuran agregat dengan aspal tergantung besarnya berat jenis agregat, umumnya direncanakan berdasarkan perbandingan berat dan untuk menentukan banyak pori. Agregat dengan berat jenis kecil mempunyai volume yang besar sehingga dengan berat yang sama membutuhkan jumlah aspal yang lebih banyak. Disamping itu agregat dengan kadar pori besar membutuhkan jumlah aspal yang banyak.

2.2.5. Aspal

Menurut Sukirman (2003), aspal merupakan material perekat yang berwarna hitam atau coklat tua yang berasal dari bekas penyulingan minyak bumi dengan unsur utama bitumen. Sifat aspal yaitu *termoplastis* saat berada pada temperatur ruang tertentu akan berbentuk padat, saat suhu dinaikkan atau dipanaskan aspal akan mencair sehingga dapat membungkus partikel agregat pada saat pencampuran aspal. Aspal merupakan material *visco elastic* dan *termoplastis*, berarti sifatnya bervariasi dari kental sampai elastis atau mencair tergantung pada waktu pembebanan dan temperatur selama pencampuran serta pemadatan dari campuran aspal. Sifat aspal dapat dinyatakan sebagai viskositas tetapi pada kebanyakan kondisi pelayanan aspal *visco-elasticity* dan sifatnya dapat dinyatakan dalam modulus kekakuan.

Aspal pada lapis keras jalan berfungsi sebagai bahan ikat antar agregat untuk membentuk suatu campuran yang kompak, sehingga akan memberikan kekuatan yang lebih besar dari kekuatan agregat. Aspal yang digunakan dalam penelitian ini merupakan aspal keras produksi Pertamina. Aspal keras merupakan aspal hasil destilasi yang bersifat *viskoelastis* sehingga akan melunak dan mencair jika dipanaskan dan sebaliknya. Spesifikasi aspal keras dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Spesifikasi Aspal Keras (Bina Marga Revisi 2, 2010)

No.	Jenis pengujian	Metode pengujian	Tipe I	Tipe II
			penetra si 60- 70	Elastom er alam (Lateks)
1.	Penetrasi, 25°C (0,1 mm)	SNI 06-2456-1991	60-70	50-70
2.	Viskositas 135°C	AASHTO T201-03	≥ 300	≤ 2000
3.	Titik lembek (°C)	SNI 06-2434-1991	≥ 48	-
4.	Indeks penetrasi	-	≥ - 1,0	≥ 0,0
5.	Daktalitas pada 25°C, (cm)	SNI 06-2432-1991	≥ 100	≥ 100
6.	Titik nyala (°C)	SNI 06-2432-1991	≥ 232	≥ 232
7.	Kelarutan dalam trichloroethylene (%)	AASHTO T44-03	≥ 99	≥ 99

Tabel 2.3 Spesifikasi Aspal Keras (Lanjutan)

8.	Berat jenis	SNI 06-2441-1991	$\leq 1,0$	$\geq 1,0$
9.	Stabilitas penyimpanan (°C)	ASTM D 5976 part	-	$\leq 2,2$
6.1				
Pengujian Residu Hasil TFOT (SNI 06-2440-1991) atau RTFOT (SNI 03-6835-2002) :				
10.	Berat yang hilang (%)	SNI 06-2441-1991	$\leq 0,8$	$\leq 0,8$
11.	Penetrasi pada 25°C (%)	SNI 06-2456-1991	≥ 54	≥ 54
12.	Indeks penetrasi	-	$\geq -1,0$	$\geq 0,0$
13.	Keelastisan setelah pengembalian (%)	AASHTO T 301-98	-	≥ 45
14.	Daktalitas pada 25°C, (cm)	SNI 06-2432-1991	≥ 100	≥ 50
15.	Partikel yang lebih halus dari 150 micron (μm) (%)	-	-	-

Aspal yang digunakan dapat berupa aspal keras penetrasi 60 atau penetrasi 70 yang memenuhi persyaratan aspal keras. Adapun jenis aspal keras yang dipakai yaitu aspal penetrasi rendah 60/70, digunakan untuk jalan dengan volume lalu lintas sedang atau tinggi, dan daerah dengan cuaca iklim panas. Menurut Sukirman (1992), aspal memiliki jenis, komposisi, dan sifat.

a. Jenis aspal

Aspal berdasarkan cara mendapatkannya dapat dibedakan menjadi beberapa jenis di antaranya sebagai berikut :

- 1) Aspal alam, yang dibedakan menjadi aspal gunung (*rock asphalt*) dan aspal danau (*lake asphalt*).
- 2) Aspal buatan, yang dibedakan menjadi aspal minyak (*petroleum asphalt*) dan tar.

b. Komposisi aspal

Hydrokarbon atau bitumen merupakan unsur yang sangat penting dalam aspal. Sangat susah jika harus memisahkan antar molekul penyusun aspal tersebut. Komposisi penyusun aspal adalah *asphaltenes* dan *maltenes*. *Asphaltenes* adalah material berwarna hitam coklat tua, dan *maltenes* adalah cairan kental yang mengandung *resins* dan *oils*.

c. Fungsi aspal

Aspal memiliki di antaranya sebagai berikut :

- 1) Sebagai bahan pengikat, memberikan ikatan antara aspal dengan agregat atau dengan aspal itu sendiri.
- 2) sebagai bahan pengisi, mengisi rongga dari agregat atau pori-pori agregat.

d. Sifat aspal

Aspal memiliki sifat-sifat di antaranya sebagai berikut :

1) Daya tahan (*durability*)

Aspal memiliki daya tahan untuk mempertahankan sifat awal sampai mendapat beban dan pengaruh keadaan cuaca selama masa pelayanan.

2) Adhesi dan Kohesi

Adhesi adalah kemampuan aspal untuk mengikat agregat agar mendapatkan suatu ikatan yang kuat. Kohesi adalah kesanggupan aspal untuk dapat mempertahankan agregat tetap pada tempatnya setelah terjadi pengikatan.

3) Kepekaan terhadap temperatur (*termoplastis*)

Aspal akan mengeras atau kental pada suhu yang dingin dan akan mencair atau lunak pada suhu panas.

4) Kekerasan aspal

Aspal pada saat pencampuran dipanaskan dan dicampur dengan agregat sehingga agregat terlapisi aspal atau aspal panas disiramkan kepermukaan agregat saat proses peleburan. Saat proses pelaksanaan terjadi oksidasi yang menyebabkan aspal menjadi getas (viskositas tinggi). Perapuhan terus berlangsung setelah proses pelaksanaan selesai, jadi selama masa pelayanan akan terus mengalami oksidasi yang besarnya dipengaruhi oleh ketebalan aspal yang menyelimuti agregat. Semakin tipis lapisan aspal maka semakin besar tingkat kerapuhan yang terjadi.

2.2.6. Lateks

Menurut Subramaniam (1987), lateks karet alam mengandung partikel hidrokarbon karet dan substansi non-karet yang terdispersi dalam fase cairan serum. Kandungan hidrokarbon karet dalam lateks diperkirakan antara 30-45% tergantung klon tanaman dan umur tanaman. Substansi non-karet terdiri atas protein, asam lemak, sterol, trigliserida, fosfolipid, glikolipid, karbohidrat, dan garam-garam anorganik. Senyawa protein dan lemak ini menyelubungi lapisan permukaan dan sebagai pelindung partikel karet. Secara umum komposisi karet alam dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Komposisi Karet Alam (Subramaniam, 1987)

Bahan	Kadar (%)
Karet	93,7
Protein	2,2
Karbohidrat	0,4
Lemak	2,4
Glikolipid+Fosfolipid	1,0
Garam anorganik	0,2
Lainya	0,1

Wijaya dkk. (2016) menyatakan bahwa lateks adalah cairan berwarna putih susu diperoleh dari getah pohon karet yang disadap, biasanya dapat digunakan untuk membuat ban, karet gelang, sarung tangan medis. Fungsi dari lateks dapat menjadi bahan dasar pembuatan barang yang membutuhkan durabilitas dan elastisitas tinggi. Lateks yang berkualitas baik biasanya tidak tercampur air, bersih dari kotoran kayu, debu, dan daun. Menurut Suparto (2002), komposisi lateks dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Komposisi Lateks (Suparto, 2002)

Bahan	Kadar (%)
Karet	30-35
Resin	0,5-1,5
Protein	1,5-2,0
Abu	0,3-0,7
Gula	0,3-0,5
Air	55-60

Bentuk lateks yang cair memudahkan dalam proses pencampuran dengan bahan lain. Untuk itu harus tetap dalam keadaan cair, karena lateks dapat mengental jika dibiarkan pada ruangan terbuka. Secara fisiologi lateks merupakan sitoplasma dan sel-sel pembuluh lateks yang mengandung partikel-partikel. Selain itu di dalam lateks terdapat bahan-bahan bukan lateks yang berperan penting mengendalikan sifat lateks meskipun dalam jumlah yang relatif kecil.

2.2.7. Pengujian Bahan Penyusun Laston-WC

Menurut Piotr (2013) (Dalam Krishnapriya M. G, 2015), ketahanan suatu campuran beraspal tergantung dari jenis campuran dan jenis bahan pengikat. Menurut Bina Marga Revisi 3 (2010), bahan penyusun dari Laston-WC di antaranya yaitu agregat (agregat kasar dan agregat halus), aspal, dan bahan pengisi (*filler*). Ketentuan dari sifat-sifat campuran laston dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Sifat-Sifat Campuran Laston-AC (Bina Marga Revisi 3, 2010)

No.	Sifat-Sifat Campuran	Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Pondasi
	Jumlah Tumbukan Perbidang	75		112
1.	Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Min. 1,0 Maks. 1,4	1,0 1,4	1,0 1,4
2.	Rongga dalam campuran (%)	Min. 3,0 Maks. 5,0	3,0 5,0	3,0 5,0
3.	Rongga dalam agregat (VMA)(%)	Min. 15	14	13
4.	Rongga terisi aspal (%)	Min. 65	65	65

Tabel 2.6 Sifat-Sifat Campuran Laston-AC (Lanjutan)

5.	Stabilitas <i>Marshall</i> (kg)	Min.	800	800	1800
6.	Pelelehan (mm)	Min.	2	2	3
		Maks.	4	4	6
7.	Stabilitas <i>Marshall</i> sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C	Min.	90	90	90
8.	Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (<i>refusal</i>)	Min.	2	2	2

Untuk ketentuan dari sifat-sifat laston yang dimodifikasi agak sedikit perbedaan. Secara keseluruhan dapat dilihat perbedaannya pada Tabel 2.7 berikut ini.

Tabel 2.7 Sifat-Sifat Campuran Laston-AC Modifikasi (Bina Marga Revisi 3, 2010)

No.	Sifat-Sifat Campuran	Laston			
		Lapis Aus	Lapis Antara	Pondasi	
	Jumlah Tumbukan Perbidang		75	112	
1.	Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Min.	1,0	1,0	1,0
		Maks.	1,4	1,4	1,4
2.	Rongga dalam campuran (%)	Min.	3,0	3,0	3,0
		Maks.	5,0	5,0	5,0
3.	Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min.	15	14	13
4.	Rongga terisi aspal (%)	Min.	65	65	65
5.	Stabilitas <i>Marshall</i> (kg)	Min.	1000	1000	2250
6.	Pelelehan (mm)	Min.	2	2	3
		Maks.	4	4	6
7.	Stabilitas <i>Marshall</i> sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C	Min.	90	90	90
8.	Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (<i>refusal</i>)	Min.	2	2	2
9.	Stabilitas dinamis, lintasan / mm	Min.	2500	2500	2500

Hal yang paling penting untuk mendapatkan bahan yang memiliki kualitas serta keawetan yang baik perlu dilakukan pengujian dari bahan-bahan penyusun yang digunakan.

a. Agregat

Menurut Rondonuwu F dkk. (2013) (Dalam Ritonga dan Ifandi, 2016), hasil dari penelitian sifat fisik pengujian berat jenis *bulk* dan berat jenis *apparent* agregat nilainya semakin besar menghasilkan nilai VIM semakin kecil. Agregat merupakan komponen utama dari suatu campuran perkerasan yang terdiri dari agregat kasar dan agregat halus sehingga kekuatan serta keawetan dari agregat dapat berpengaruh terhadap hasil campuran agregat dengan bahan lain. Pegujian yang dilakukan meliputi berat jenis, penyerapan air, dan keausan agregat berdasarkan SNI 1969-2008, SNI 1970-2008, dan SNI 2417-2008.

1) Berat jenis curah kering agregat kasar dan halus (*Bulk Specific Gravity*)

Menurut BSN (2008b), berat jenis curah kering adalah perbandingan berat jenis kering agregat dan volumenya pada temperatur tertentu terhadap berat air suling. Perhitungan berat jenis curah kering agregat kasar (S_d), pada temperatur air 23°C / temperatur agregat 23°C dengan rumus berikut :

$$\text{Berat Jenis Curah Kering Agregat Kasar} = \frac{A}{(B-C)} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

A = Berat benda uji kering oven (gram).

B = Berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan di udara (gram).

C = Berat benda uji dalam air (gram).

Menurut BSN (2008c), perhitungan berat jenis curah kering agregat halus (S_d) dengan rumus berikut :

$$\text{Berat Jenis Curah Kering Agregat Halus} = \frac{A}{(B+S-C)} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan :

A = Berat benda uji kering oven (gram).

B = Berat piknometer yang berisi air (gram).

C = Berat piknometer dengan benda uji dan air sampai batas pembacaan (gram).

S = Berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan (gram).

- 2) Berat jenis jenuh kering permukaan agregat kasar dan halus (*Saturated Surface Dry/SSD*)

Menurut BSN (2008b), berat jenis kering permukaan adalah perbandingan berat jenis kering permukaan volume agregat termasuk berat air yang ada pada rongga tetapi tidak termasuk rongga antar partikel, hal tersebut akibat dari perendaman pada temperatur terhadap berat air suling. Perhitungan berat jenis curah kering permukaan (S_s), pada temperatur air 23°C / temperatur agregat 23°C dalam basis jenuh kering permukaan dengan rumus berikut :

$$\text{Berat Jenis Jenuh Kering Agregat Kasar} = \frac{B}{(B-C)} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

B = Berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan di udara (gram).

C = Berat benda uji dalam air (gram).

Menurut BSN (2008c), perhitungan berat jenis jenuh kering permukaan agregat halus (S_s) dengan rumus berikut :

$$\text{Berat Jenis Jenuh Kering Agregat Halus} = \frac{S}{(B+S-C)} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

A = Berat benda uji kering oven (gram).

B = Berat piknometer yang berisi air (gram).

C = Berat piknometer dengan benda uji dan air sampai batas pembacaan (gram).

S = Berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan (gram).

- 3) Berat jenis semu agregat kasar dan halus (*Apparent Specific Gravity*)

Menurut BSN (2008b), berat jenis semu adalah perbandingan berat agregat kering dengan berat air suling. Perhitungan berat jenis semu (S_a), pada temperatur air 23°C / temperatur agregat 23°C dengan rumus berikut :

$$\text{Berat Jenis Semu Agregat Kasar} = \frac{A}{(A-C)} \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

A = Berat benda uji kering oven (gram).

C = Berat benda uji dalam air (gram).

Menurut BSN (2008c), perhitungan berat jenis semu agregat halus (S_a) dengan rumus berikut :

$$\text{Berat Jenis Semu Agregat Halus} = \frac{A}{(B+A-C)} \dots\dots\dots(2.6)$$

A = Berat benda uji kering oven (gram).

B = Berat piknometer yang berisi air (gram).

C = Berat piknometer dengan benda uji dan air sampai batas pembacaan (gram).

4) Penyerapan air agregat kasar dan halus (*Absorption*)

Menurut BSN (2008b), penyerapan air adalah persentase penambahan berat agregat terhadap air yang masuk ke pori-pori.

Perhitungan persentase penyerapan air (S_w) dengan rumus berikut :

$$\text{Penyerapan Air} = \left[\frac{B-A}{A} \times 100 \% \right] \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan :

A = Berat benda uji kering oven (gram).

B = Berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan di udara (gram).

Persyaratan :

- Penyerapan air oleh agregat maksimum 3%.
- Berat jenis (*specific gravity*) agregat kasar dan halus tidak boleh berbeda lebih dari 0,2.

5) Keausan agregat

Menurut BSN (2008d), keausan agregat adalah untuk menentukan ketahanan agregat kasar yang dinyatakan dengan perbandingan berat tertahan dengan berat semula dalam persen. Menghitung hasil dari keausan menggunakan rumus :

$$\text{Keausan} = \left[\frac{A-B}{A} \times 100 \% \right] \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan :

A = Berat benda uji semula (gram).

B = Berat benda uji tertahan saringan No. 12 (1,70 mm) (gram).

b. Aspal

Aspal merupakan unsur bitumen sebagai bahan pengikat agregat dan pengisi rongga-rongga dari suatu campuran sehingga dapat memberikan kekuatan antar agregat. Pengujian Aspal perlu dilakukan guna mengetahui karakteristik serta spesifikasi aspal yang digunakan.

1) Pengujian penetrasi

Menurut BSN (1991a), penetrasi adalah kekerasan masuknya jarum penetrasi ke dalam aspal dalam waktu, beban, dan temperatur yang ditentukan. Pengujian penetrasi bertujuan untuk menentukan keras atau lunak dari suatu bahan bitumen dengan cara memasukkan jarum penetrasi ke dalam bahan bitumen dengan waktu dan beban tertentu. Suhu atau temperatur sangat berpengaruh besar dalam pengujian ini. Nilai penetrasi yang tinggi menunjukkan aspal yang lunak dan sebaliknya. Penetrasi dilakukan di beberapa titik dan hasilnya akan dirata-rata.

2) Pengujian titik lembek

Menurut BSN (1991b), titik lembek adalah temperatur pada saat bola baja dengan berat tertentu, medesak turun lapisan aspal yang tertahan dalam cincin berukuran tertentu, sehingga aspal menyentuh pelat dasar yang terletak di bawah cincin pada jarak 25,4 mm, sebagai akibat kecepatan pemanasan tertentu. Penentuan titik lembek aspal antara 30°C sampai 157°C menggunakan alat cincin dan bola yang direndam pada air suling yang dipanaskan secara merata hingga bola baja yang terselimuti aspal jatuh ke dasar pelat. Nilai minimal untuk apal penetrasi 60/70 adalah 48°C.

3) Pengujian berat jenis

Menurut BSN (2011a), berat jenis merupakan perbandingan massa suatu bahan dengan masa air pada sisi dan temperatur yang sama. Pengujian ini mencakup penentuan berat jenis dan berat isi aspal

keras dengan menggunakan piknometer. Perhitungan hasil pengujian ini dapat menggunakan rumus berikut :

$$\text{Berat Jenis Curah Kering} = \frac{(C-A)}{[(B-A)-(D-C)]} \dots\dots\dots(2.9)$$

Keterangan :

A = Adalah massa dari piknometer, dan tutup (gram).

B = Adalah massa dari piknometer, air, dan tutup (gram).

C = Adalah massa dari piknometer, aspal, dan tutup (gram).

D = Adalah massa dari piknometer, aspal, air, dan tutup (gram).

$$\text{Berat isi} = \text{Berat jenis} \times W_T \dots\dots\dots(2.10)$$

Keterangan :

W_T = Berat isi air pada temperatur pengujian

4) Kehilangan berat minyak

Menurut BSN (1991c), kehilangan berat minyak adalah selisih berat sebelum dan sesudah pemanasan pada tebal dan suhu tertentu. Pengujian ini dilakukan dengan cara memasukkan bahan bitumen ke dalam oven dengan suhu 163°C. Mencari nilai selisih dapat menggunakan rumus berikut :

$$\text{Kehilangan berat minyak} = \left[\frac{A-B}{A} \times 100 \% \right] \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan :

A = Berat benda uji awal (gram).

B = Berat benda uji setelah dilakukan pemanasan (gram).

c. *Filler*

Menurut Bina Marga Revisi 3 (2010), bahan pengisi (*filler*) terdiri dari debu batu kapur, kapur padam, semen atau abu terbang. Pengujian dilakukan dengan pengayakan sesuai SNI ASTM C136-2012 hasilnya tidak boleh kurang dari 75% untuk lolos ayakan No. 200. Seluruh campuran beraspal harus mengandung bahan pengisi minimal 1% dari berat total agregat.

2.2.8. Karakteristik *Marshall*

Penentuan kinerja dari campuran aspal dapat diperiksa dengan menggunakan alat *Marshall*. Alat uji *Marshall* digunakan untuk mengetahui nilai stabilitas dan keelehan (*flow*), dilengkapi dengan cincin pengujian (*proving ring*) dengan kapasitas 5000 pon (2268 kg) dengan arloji (*dial*) pengukur stabilitas dan arloji di bagian atas sebagai pengukur keelehan (*flow*). Benda uji *Marshall* berbentuk silinder dengan diameter 10,2 cm dan tinggi 6,35 cm (Sukirman, 2003).

Sampel benda uji dilakukan pemadatan sebanyak 75 kali lalu dibalik dan ditumbuk lagi 75 kali yang merupakan ketentuan untuk lalu lintas berat sesuai SNI 06-2484-1991. Hal terpenting dalam pengujian ini adalah beban maksimum yang sanggup dipikul oleh benda uji sebelum hancur atau stabilitas benda uji. Kelelahan (*flow*) juga sebagai parameter penting sebagai jumlah akumulasi deformasi benda uji sebelum hancur. Turunan dari stabilitas dan *flow* adalah *Marshall Quotient* (MQ) merupakan nilai kekakuan berkembang (*pseudo stiffness*), yang menunjukkan ketahanan campuran terhadap deformasi permanen (Whiteoak, 1990). Parameter yang lain di antaranya adalah *Void in the Mix* (VIM), *Void in Material Aggregate* (VMA), *Void Filled with Asphalt* (VFA) yang ditentukan dalam kondisi standar (BSN, 1991d).

a. Parameter *Marshall Test*

1) Stabilitas

Stabilitas merupakan kemampuan suatu campuran aspal untuk menerima beban hingga terjadi *flow* yang dinyatakan dalam kg.

$$A = a \times b \dots\dots\dots(2.12)$$

Keterangan :

a = Nilai pembacaan arloji stabilitas.

b = Kalibrasi *proving ring*.

$$\text{Stabilitas} = A \times \text{Koreksi tebal benda uji} \dots\dots\dots(2.13)$$

2) *Flow*

Flow merupakan keadaan perubahan bentuk suatu campuran aspal yang terjadi akibat beban. Penentuan nilai *flow* dengan membaca pada arloji (*dial*) keelehan yang dinyatakan dalam mm.

3) Kadar rongga dalam agregat (VMA)

Void in Material Aggregate (VMA) merupakan volume rongga yang terdapat di antara butir-butir agregat dari suatu campuran aspal yang sudah dipadatkan, termasuk di dalamnya rongga udara dan rongga yang terisi aspal efektif yang dinyatakan dalam % volume.

$$\text{Kadar Rongga Agregat} = (100 - \text{volume agregat}) \dots\dots\dots(2.14)$$

4) Rongga terhadap campuran (VIM)

Void in the Mix (VIM) merupakan parameter yang menunjukkan volume rongga yang berisi udara di dalam campuran aspal yang dinyatakan dalam % volume.

$$\text{Rongga T. Campuran} = 100 - \frac{100 \times a}{b} \dots\dots\dots(2.15)$$

Keterangan :

a = Berat volume (gr/cc).

b = Berat Jenis maksimum teoritis (gr/cc).

5) Rongga yang terisi spal (VFA)

Void Filled with Asphalt (VFA) merupakan rongga yang terdapat di antara partikel agregat yang terisi oleh aspal.

$$\text{Rongga Terisi Aspal} = 100 \times \frac{a}{b} \dots\dots\dots(2.16)$$

Keterangan :

a = Volume aspal.

b = Kadar rongga dalam agregat (VMA) (%).

5) *Marshall Quotient* (MQ)

Marshall Quotient (MQ) merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan *flow*, semakin tinggi nilai MQ maka kemungkinan akan semakin tinggi kekakuan suatu campuran dan semakin rentan mengalami keretakan.

$$\text{Marshall Quotient} = \frac{a}{b} \dots\dots\dots(2.17)$$

Keterangan :

a = Stabilitas.

b = *Flow*.