

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

2.2.1. Penelitian Terdahulu tentang pemanfaatan getah karet pada aspal

Prastanto dkk. (2018) menjelaskan bahwa untuk penambahan karet alam atau lateks pada aspal penetrasi 60/70 dalam pembuatan campuran aspal karet bertujuan untuk meningkatkan sifat fisik dari aspal yang dapat berpengaruh pada peningkatan nilai titik lembek, menurunnya nilai penetrasi aspal dan kenaikan keelastisan aspal setelah pencampuran aspal dengan lateks. Lateks karet alam yang di uji adalah jenis lateks karet alam murni dan lateks karet alam pekat yang telah dicampurkan sehingga mendapatkan hasil atau parameter yang dapat berpengaruh pada suatu kemampuan aspal karet untuk menahan kelelahan plastis dan meningkatkan tahanan geser. Lateks adalah salah satu hasil dari karet alam yang begitu menjanjikan untuk dapat dipakai untuk dapat mewujudkan misi dan target yang direncanakan oleh pemerintah. Rencana aspal karet di dalam negeri dapat diprediksi mampu menghasilkan lebih kurang 60 ribu ton hasil karet alam pertahun. Pada penelitian ini penambahan karet pada aspal pen 60/70 menggunakan getah karet alam cair atau lateks cair yang dipanaskan terlebih dahulu kemudian dicampur kedalam aspal yang sudah dicairkan untuk mengetahui pengaruh karakteristik *Marshall*.

Menurut Rosyad dkk. (2018) menjelaskan bahwa dalam penambahan lateks atau getah karet alam pada campuran aspal beton atau AC-WC menjadi suatu jalan keluar yang bisa digunakan dalam perencanaan jalan raya dan untuk mengurangi pencemaran limbah karet yang dihasilkan dari pabrik karet yang ada di Indonesia. Nilai *Marshall Quotien* dan *Stabilitas Marshall* dari hasil yang didapat penambahan campuran lateks yang dapat mempengaruhi nilai fleksibilitas dan durabilitas jika dibandingkan dengan campuran aspal pada umumnya karena terjadi penurunan, penurunan nilai tersebut diakibatkan oleh berkurangnya pori-pori didalam benda uji setelah dicampur dengan lateks. Campuran limbah karet dapat menghasilkan nilai optimaal pada stabilitas *Marshall* pada persentase kadar lateks 6% didapatkan nilai 93,68% dan pada *Marshall Quotien* pada persentase

pada kadar lateks 6% diperoleh nilai sebesar 272,20 kg/mm. Pada penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh lateks pada aspal penetrasi 60/70 terhadap nilai VIM, VMA, VFA, Stabilitas, *flow* dan MQ.

Prastanto dkk. (2018) menjelaskan bahwa potensi yang dimiliki lateks dapat digunakan untuk pembuatan aspal karet sebagai bahan adiktif. Tujuannya untuk mengetahui dampak di berbagai jenis kadar lateks terhadap suatu sifat fisik aspal karet. Lateks yang digunakan adalah 3 jenis lateks antara lain lateks karet alam pekat murni, lateks karet alam kationik, dan yang terakhir lateks karet alam yang sudah dipravulkanisasi selama 1-4 jam di dalam pencampuran. Aspal sebagai bahan utama dalam pencampuran aspal karet memakai jenis aspal penetrasi 60/70 yang banyak dipakai di Indonesia. Mutu aspal karet yang diperoleh berdasarkan hasil pengujian penetrasi, titik lembek, daktilitas dan penetrasi. Pencampuran lateks dalam aspal penetrasi 60/70 di uji pada temperatur suhu 140-150 °C. Kadar penambahan lateks memakai kadar lateks sebesar 3%, 5% dan 7% terhadap berat aspal penetrasi 60/70.

Wijaya dkk. (2016) menyebutkan bahwa lateks adalah sebagai bahan *additive* yang memiliki sifat yang bagus terhadap ketahanan dan kelenturan suatu perkerasan. Penelitian sebelumnya dilakukan dengan cara mencampurkan aspal dan lateks kemudian menguji pengaruh kadar aspal optimal 5,33% pada penambahan kadar lateks sebesar 15%, 20%, dan 25% masing-masing dibuat 5 benda uji agar dapat didapatkan nilai rata-rata. Berdasarkan hasil uji *Marshall*, benda uji direndam selama kurang lebih 30 menit dengan temperatur suhu 60°C, didapatkan hasil stabilitas tertinggi yaitu sebesar 1.354,23 dengan peningkatan terhadap spesifikasi sebesar 35,42% dengan *flow* sebesar 5,30 mm terjadi peningkatan nilai didapat sebesar 76,67%. Kenaikan stabilitas dan *flow* menjangkau nilai optimum pada kadar Lateks 25%, Namun kadar lateks optimum berdasarkan keseluruhan parameter didapat nilai sebesar 21,25%. Tujuannya adalah untuk dapat mengetahui pengaruhnya terhadap penambahan lateks pada campuran aspal beton, dan juga untuk mengetahui pengaruh stabilitas beton aspal setelah dicampurkan bahan penambah lateks, dan menemukan kadar optimal yang cocok dengan kondisi Jalan. Pada penelitian ini bertujuan hanya untuk mengetahui

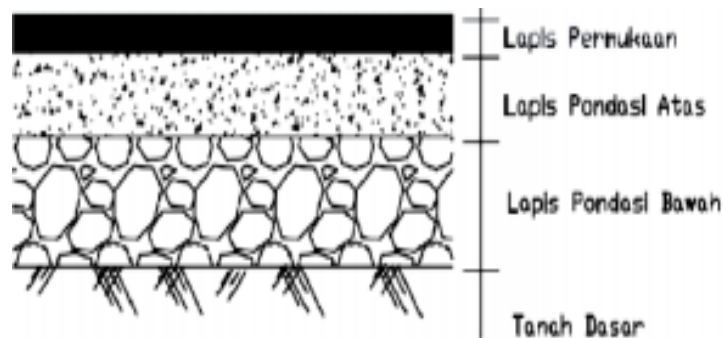
karakteristik *Marshall* dengan lateks sebagai penambah campuran aspal penetrasi 60/70 dengan kadar aspal 6% pada pekerasan AC-WC.

Ferdilla dkk. (2018) menyatakan bahwa penggunaan lateks telah memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan kecuali nilai penetrasinya yang tidak memenuhi spesifikasi yang sudah ditetapkan. Pada pengujian penetrasi terlihat bahwa nilai penetrasi aspal dengan variasi getah karet 4%, 6% dan 8% tidak memenuhi spesifikasi umum Bina Marga 2010 Revisi 3 untuk jenis aspal keras. Hal ini disebabkan bahwa aspal tersebut sudah termasuk jenis aspal modifikasi. Menurut Spesifikasi untuk nilai penetrasi aspal modifikasi adalah minimal 40, sehingga nilai penetrasi aspal dengan getah karet 4%, 6% dan 8% telah memenuhi syarat. Pada pengujian ini memakai kadar aspal 6% yang sebelumnya sudah dipanaskan kemudian dicampurkan dengan lateks dengan presentasi 0%, 2%, 4%, dan 6% yang sudah dipanaskan dan dimasukkan dalam satu cawan.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Perkerasan Lentur (*flexible pavement*)

Menurut Kurniawan dan Nurita (2017) menyatakan bahwa konstruksi perkerasan lentur (*flexible pavement*) adalah perkerasan yang menggunakan bahan aspal sebagai pengikatnya. Perkerasan lentur memiliki karakteristik lapisan-lapisan perkerasan bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar. Komponen perkerasan lentur (*flexible pavement*) terdiri dari : tanah dasar (*sub grade*), lapis pondasi bawah (*sub base course*), lapis pondasi (*base course*) dan lapis permukaan (*surface*).



Gambar 2.1 Konstruksi perkerasan lentur
(Sukirman, 1999)

Menurut Dinata dkk. (2017) menyatakan bahwa lapis perkerasan jalan yang baik, nyaman, dan tahan lama untuk melayani lalu lintas kendaraan di atasnya harus memenuhi karakteristik tertentu yang tidak lepas dari sifat bahan penyusun dari perilaku aspal pada campuran lapis perkerasan. Fungsi utama dari struktur lapisan perkerasan adalah mendistribusikan tegangan akibat beban roda ke arah yang lebih luas pada tanah dasar dibawahnya (Pradani dkk., 2016). Pada umumnya perkerasan lentur banyak digunakan pada jalan untuk menahan beban yang ada di lalu lintas rendah sampai sedang seperti pada jalan pada wilayah perkotaan, jalan dengan sistem utilitasnya berada di bawah perkerasan jalan, baik pada perkerasan pada bahu jalan. Perkerasan lentur memiliki beberapa karakteristik sebagai berikut ini :

- a. menggunakan bahan utama berupa aspal sebagai pengikat.
- b. pada Perkerasan lentur memiliki karakteristik untuk menahan suatu beban lalu lintas dan kemudian menyebarkan bebannya menuju tanah dasar.
- c. Memiliki pengaruh terhadap tekanan beban yang mengakibatkan terjadinya *rutting* atau lendutan pada jalur roda.
- d. Jalan yang bergelombang mengikuti tanah dasar adalah salah satu dampak yang ditimbulkan pada perkerasan lentur.

Adapun alasan lain dalam penggunaan perkerasan lentur adalah sering terjadinya cuaca yang ekstrim yang dapat menimbulkan pengaruh pada pergantian suhu yang besar. Apabila menggunakan *Rigit Pavement* pada daerah tropis, beton akan mengalami retakan yang dapat menimbulkan kerusakan. Hal inilah yang menjadi alasan utama menggunakan perkerasan lentur. Jika terjadi perubahan suhu, perkerasan lentur akan mampu menyesuaikan keadaan yang terjadi disekitar perkerasan. Pada suhu sangat panas, perkerasan akan lentur dan apabila suhu sangat dingin, perkerasan lentur akan menjadi kaku.

2.2.2. Getah Karet (Lateks) sebagai bahan campuran Aspal

Menurut Ferdilla dkk. (2018) lateks adalah getah kental yang didapat dari kebun bidang sadapan pohon karet. Getah ini belum mengalami penggumpalan dengan bahan tambah seperti serum lateks atau tanpa bahan pemantap (zat antikoagulan). Lateks merupakan emulsi kompleks yang mengandung protein, alkaloid, pati, gula, (poli) terpena, minyak, tanin, resin dan gom. Pada banyak

tumbuhan lateks biasanya berwarna putih, namun ada juga yang berwarna kuning, jingga, atau merah tergantung jenis pohon karet yang ditanam. Getah karet memiliki beberapa keunggulan, seperti daya elastis yang baik, plastisitas yang tinggi, sangat mudah dalam pengolahannya, harga yang ekonomis dibandingkan harga aspal, tidak mudah habis karena gesekan dan tidak mudah panas. Selain itu, getah karet alami juga memiliki daya tahan yang tinggi terhadap keretakan, tahan hentakan yang berulang-ulang, serta daya lengket yang tinggi terhadap berbagai bahan, sehingga getah karet dapat menambah stabilitas pada perkerasan jalan.

Lateks merupakan getah yang dihasilkan dari pohon karet, biasanya digunakan dalam produksi pembuatan karet gelang, sarung tangan medis, ban, produksi bola, kondom dan banyak lagi barang yang bahan dasarnya dari getah karet. Lateks memiliki kegunaan antara lain sebagai bahan utama dalam produksi pembuatan barang yang memerlukan tingkat durabilitas dan elastisitas yang tinggi (Wijaya, 2016). Selain itu, lateks juga bisa dikatakan memiliki mutu yang baik apabila memiliki kriteria, sebagai berikut:

- a. Tidak ditemukan kotoran dan tidak mengandung serpihan kayu, daun dan debu.
- b. Kadar karet kering berkisar antara 20% - 29%;
- c. Tidak tercampur dengan zat cat cair.
- d. Pada umumnya bau karet sangat tidak sedap.

Menurut Prayuda dkk. (2014) menjelaskan bahwa dalam upaya meningkatkan kekuatan struktur perkerasan jalan selain perlu adanya penggunaan campuran beraspal panas dengan pemilihan jenis material yang baik dapat pula dengan cara memodifikasi aspal dengan menggunakan bahan tambahan sehingga diharapkan dapat meningkatkan kinerja campuran aspal dan stabilitasnya. Salah satu bahan yang dapat digunakan yaitu lateks. Lateks dapat memberikan banyak sekali manfaat dan keuntungan dalam berbagai konstruksi perkerasan jalan, disamping sebagai bahan *additive*, lateks juga sangat banyak ditemui di Indonesia. Keuntungan lain jika memakai lateks juga dapat menyebabkan turunnya nilai penetrasi pada aspal, meningkatnya nilai titik lembek dan bertambahnya nilai titik nyala pada aspal, selain itu juga dapat menurunkan kepekaan terhadap temperatur pada aspal seiring penambahan kadar lateks serta dapat mempengaruhi ketahanan

terhadap kerusakan yang diakibatkan oleh air karena di Indonesia sering terjadi banjir saat musim hujan tiba.

2.2.3. Aspal sebagai bahan pengikat

Sistra dkk. (2016) menyatakan bahwa aspal dijelaskan sebagai material yang memiliki fungsi sebagai perekat dan pengikat yang biasanya berwarna hitam atau coklat tua, dengan unsur utama bitumen. Aspal didapatkan dari hasil sumberdaya alam ataupun merupakan hasil residu dari pengilangan minyak bumi. Aspal adalah material yang pada dasarnya berbentuk padat sampai agak padat, dan bersifat termoplastis. Jadi, aspal akan menjadi cair jika dipanaskan pada temperature suhu tertentu dan akan membeku jika temperatur pada aspal mengalami penurunan. Menurut Edison (2014), Kerusakan perkerasan jalan pada umumnya adalah penuaan dini (*cracking*) dan deformasi permanen (*bleeding*).

Aspal material utama dalam perkerasan lentur yang biasa didapatkan langsung dari alam itu sendiri maupun dari pengolahan lanjutan dari minyak bumi apabila aspal berada pada kondisi suhu tinggi maka akan menjadi cair/lunak dan apabila pada suhu ruang antara 25°-30°C akan menjadi padat maupun semi padat karenanya aspal mempunyai sifat *thermoplastic*.

Aspal itu sendiri bisa dibedakan berdasarkan tempatnya berupa aspal alam dan aspal minyak. Aspal minyak berasal dari residu hasil pengolahan minyak bumi dan aspal alam tidak memerlukan pengolahan yang banyak seperti aspal minyak, aspal alam itu sendiri dapat diperoleh dari gunung-gunung seperti aspal buton, dan juga ada yang diperoleh dari danau seperti pada *Bernudez, Trinidad* yang merupakan aspal alam terbesar di dunia yang merupakan aspal danau (Sukirman, 2003)

Aspal yang dipakai dalam penelitian adalah aspal dalam keadaan cair dan panas. Pada temperatur suhu ruangan 25°C berbentuk padat. Di Indonesia aspal biasanya dibedakan berdasarkan nilai penetrasinya. Aspal dengan penetrasi rendah digunakan di daerah bercuaca panas atau lalu lintas dengan volume tinggi, sedangkan aspal semen dengan penetrasi tinggi digunakan pada kondisi cuaca dingin dan volume lalu lintas rendah. Spesifikasi aspal keras menurut SNI dapat dilihat pada Tabel berikut :

Tabel 2.1 Spesifikasi Aspal Penetrasi 60/70 (SNI 06-1991)

No.	Jenis Pengujian	Satuan	Spesifikasi Pengujian		Standar
			min	maks	
1	Penetrasi aspal (25°, 5 dt, 100 gr)	0,1 mm	60	70	SNI 06-2456-1991
2	Titik lembek	°C	≥48	-	SNI 2343:1991
3	Berat jenis	gr/cm ³	≥1	-	SNI 06-2441-1991
4	Daktalitas	Cm	100	-	SNI 06-2432-1991
5	Kehilangan minyak	berat %	-	≤0,8	SNI 06-2440-1991

Adapun spesifikasi aspal yang menjadi acuan pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Penetrasi aspal

Pengujian penetrasi sangat penting dalam suatu campuran, karena nilai penetrasi dapat menentukan nilai suatu mutu suatu aspal tersebut. Pengujian penetrasi adalah proses masuknya jarum penetrasi kedalam permukaan aspal dalam waktu 5 detik dengan beban 100 gram pada suhu 25°C menurut spesifikasi dari SNI 06 – 2456 – 1991 (BSN, 1991).

Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan nilai suatu kekerasan dan kelembakan aspal. Adapun nilai penetrasi yang semakin besar maka aspal tersebut semakin lunak begitu sebaliknya. Nilai penetrasi aspal yang besar biasa digunakan pada daerah dengan suhu yang dingin atau dengan lalu lintas yang tidak berat, sebaliknya jika nilai penetrasi aspal yang semakin kecil biasa digunakan pada daerah dengan suhu yang panas atau dengan lalu lintas yang tinggi.

2. Titik lembek aspal (*ring and ball method*)

Titik lembek adalah besarnya suhu dimana aspal mencapai derajat kelembakan (mulai meleleh) dibawah kondisi spesifik dari tes. Titik lembek sebagai mengklasifikasi kelas dan kualitas aspal. Pengujian titik

lembek adalah pengujian yang dilakukan dengan cara temperatur udara menyebabkan sehingga bola baja mendorong aspal dalam cincin hingga menyentuh plat dasar sejauh 2,54 mm dengan kecepatan pemanasan 5°C per menit dengan metode ring and ball. Pengujian titik lembek ini didasari dengan jenis aspal yang digunakan. Pengujian sesuai dengan acuan SNI 2434-1991 (BSN, 1991).

Penentuan titik lembek dalam perkerasan jalan, sangatlah penting maka dari itu titik lembek menjadi salah satu faktor penentu spesifikasi aspal. Nilai titik lembek yang didapat seharusnya lebih tinggi dari suhu permukaan jalan agar aspal tidak terjadi pelelehan dan dapat merusak konstruksi yang sudah ada.

3. Berat jenis

Nilai berat jenis ini banyak kaitannya dengan perhitungan volume. Hasil dari pengujian berat jenis menunjukkan bahwa nilai berat jenis semakin naik sehingga perlu diperhatikan dalam perhitungan volume yang akan dilakukan dipengujian.

Fungsi dari pengujian berat agar mengetahui perbandingan berat antara berat aspal dan berat air suling dengan isi yang sama pada suhu yang telah ditentukan (25°C atau 15,6°C) dengan menggunakan alat piknometer dengan kapasitas isi 24 – 30 ml. Pengujian sesuai dengan acuan SNI 06-2441-1991 (BSN,1991). Untuk menentukan berat jenis aspal dapat menggunakan rumus berikut ini:

$$\text{Berat Jenis Aspal} = \frac{(C-A)}{[(B-A)-(D-C)]} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan:

A = masa piknometer dan penutupnya (gram);

B = masa piknometer, penutup dan air suling (gram);

C = masa piknometer, penutup, dan aspal (gram);

D = masa piknometer, penutup, aspal dan air suling (gram).

4. Daktilitas

Pengujian ini untuk menentukan keplastisan suatu aspal, agar aspal tidak mengalami keretakan. Kemudian pengujian dilakukan dengan cara pada suhu 25°C dengan cetakan yang telah berisi aspal pada mesin uji daktilitas dengan mengatur kecepatan penarikan 50 mm per menit.

5. Kehilangan Berat

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan sifat aspal selama dalam pencampuran panas pada suhu 163 °C yang dinyatakan dengan penetrasi, daktilitas, dan kekentalan. Selain itu pengujian ini untuk mengetahui stabilitas aspal setelah pemanasan. Berdasarkan pengujian sesuai dengan acuan SNI 06-2440-1991 (BSN,1991), aspal dengan penetrasi 60/70 maksimal kehilangan berat minyak sebesar 0,4%

Kehilangan berat minyak dan aspal merupakan selisih berat sebelum dan sesudah pemanasan pada tebal tertentu pada suhu tertentu. Untuk mencari nilai kehilangan berat minyak dan aspal dapat digunakan persamaan berikut:(SNI 06-2440-1991)

Kehilangan Berat :

$$(A-B) \div A \times 100\% \dots\dots\dots(2.2)$$

dimana,

A : berat benda uji mula

B : berat benda uji setelah pemanasan

Bersama dengan agregat, aspal merupakan material pembentuk campuran perkerasan jalan, banyaknya aspal dalam campuran perkerasan berkisar antara 4% - 10% berdasarkan berat campuran. Menurut Sukirman (2003) aspal yang dipakai pada perkerasan memiliki fungsi sebagai bahan pengikat, antara aspal dan agregat dan antar sesama aspal dan juga sebagai bahan pengisi, yang mengisi rongga antar butir agregat dan pori-pori yang ada didalam butir agregat

Penelitian ini menggunakan alat-alat yang tersedia di Laboratorium Jalan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Aspal penetrasi 60/70 yang diperoleh dari UD.RETNAJAYA jalan wonosari, km. 8 Yogyakarta. Aspal penetrasi 60/70 merupakan jenis aspal keras selain aspal pen 80 yang banyak digunakan di Indonesia untuk pembentuk lapisan perkerasan

jalan. Aspal penetrasi 60/70 sesuai diaplikasikan pada kondisi beban lalu lintas yang berat dan cuaca di wilayah Indonesia yang beriklim tropis yang cenderung panas. Faktor inilah yang mendasari pemilihan aspal pen 60/70 dalam pembuatan aspal karet berbasis lateks karet alam.

2.2.4. Pengujian Agregat

Agregat adalah sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lainnya berupa hasil alam atau buatan (Departemen Pekerjaan Umum – Direktorat Jendral Bina Marga. 2010). Pembagian antara agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi (*filler*) berdasarkan spesifikasi dan gradasi yang tersedia. Jumlah agregat yang dipakai biasanya antara 90-95% atau 75-85% dari jumlah aspal yang dicampurkan. Berdasarkan ukuran butirannya agregat dapat dibedakan atas agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi (*filler*). Dengan pemilihan agregat yang tepat dan memenuhi syarat akan sangat menentukan keberhasilan pembangunan jalan.

Ketahanan agregat pada proses penghacuran diperiksa dengan menggunakan alat *Los Angeles (Abrasion Los Angeles Test)*. Pengujian ini dilakukan agar mengetahui ketahanan keausan krikil atau batu pecah yang mempengaruhi kekerasan dan kekuatan. Agregat yang sudah disiapkan sesuai gradasi dan berat yang telah ditentukan untuk suatu pengujian, kemudian dimasukkan dengan bola – bola baja kedalam mesin yang bernama mesin *Los Angeles*, lalu diputar dengan kecepatan 30-33 rpm selama 500 putaran didalam mesin *Los Angeles*. Hasil dari pengujian *Los Angeles* dapat digunakan dalam perencanaan dan pelaksanaan bahan perkerasan jalan atau konstruksi beton. Nilai abrasi dihasilkan dalam satuan persen yang merupakan hasil perbandingan dari berat benda uji semula dikurangi berat benda uji tertahan saringan No. 12 dengan berat benda uji semula (Sukirman, 1999). Adapun spesifikasi halus dan kasar yang harus sesuai dengan peraturan Bina marga (2010) di tunjukan pada tabel 2.2 dan 2.3

Tabel 2.2 Spesifikasi Agregat Halus (Bina Marga, 2010)

Pengujian	Standar	Nilai
Agregat lolos ayakan no. 200	SNI ASTM C117:2012	Min 10%
Kadar lempung	SNI 03-4141-1996	Maks 1%
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Maks 6%
Angularitas dengan uji kadar rongga	SNI 03-6877-2002	Min 45%

Tabel 2.3 Spesifikasi Agregat kasar (Bina Marga, 2010)

Pengujian	Standar	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	natrium sulfat	<i>max</i> 12%
	magnesium sulfat	<i>max</i> 18%
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Campuran AC Modifikasi Semua jenis campuran aspal bergradasi lainnya	100 putaran 500 putaran 100 putaran 500 putaran
		<i>max</i> 6% <i>max</i> 30% <i>max</i> 8% <i>max</i> 40%
kelekatan agregat terhadap aspal	SNI 2439 : 2011	<i>min</i> 95%
butir pecah pada Agregat Kasar	SNI 7619 : 2012	95/90

2.2.5. Pengujian *Marshall*

Peralatan *Marshall* merupakan alat penguji campuran beraspal panas yang umumnya dilakukan untuk mengetahui kekuatan suatu campuran beraspal panas yang digunakan untuk perkerasan lentur jalan raya yang dijelaskan oleh (Wijaya dkk.,2016). Parameter kekuatan campuran beraspal panas yang telah diuji dengan alat *Marshall* harus memenuhi spesifikasi yang ada mulai dari hasil penyerapan aspal, nilai stabilitas *Marshall*, nilai pelelehan (*flow*), nilai *Marshall quotient*, stabilitas *Marshall* sisa setelah perendaman selama 24 jam, rongga dalam

campuran pada kepadatan membal (*refusal*). Metode *Marshall* menggunakan metode pemadatan sampel pada cetakan dengan jumlah pemadatan sebanyak 75 kali pukulan untuk mendapatkan nilai kadar aspal, kemudian sampel di uji pada interval perubahan tiap 0,5%, kepadatan sampel, dan menghitung fraksi kosong (Jiang dkk., 2016). Berikut ini perhitungan yang diperlukan dalam pengujian *Marshall* :

1. *Volume* aspal

$$Volume \text{ aspal} = \frac{\text{kadar aspal terhadap campuran} \times \text{berat } volume \text{ bulk}}{B.J_aspal} \dots\dots\dots(2.3)$$

2. Berat Jenis

$$\text{Berat jenis benda uji (gr/cm}^3\text{)} = \text{massa benda uji kering} / \text{volume } bulk.(2.4)$$

3. Stabilitas

$$\text{Stabilitas (kg)} = \text{pembacaan arloji tekan} \times \text{angka kalibrasi cincin penguji} \times \text{angka korelasi beban} \dots\dots\dots(2.5)$$

4. Berat jenis maksimum teoritis

$$\text{Berat jenis maksimum teoritis (gr/cc)} = 100 / \left(\frac{\% \text{ agregat}}{B.J_agregat} + \frac{\% \text{ aspal}}{\text{Berat.J_aspal}} \right) \dots(2.6)$$

5. *Volume* agregat

$$Volume \text{ agregat} = \frac{(100 - \text{kadar aspal terhadap campuran}) \times \text{berat } volume \text{ bulk}}{B.J_agregat} \dots\dots\dots(2.7)$$

6. Kadar rongga dalam agregat (VMA)

$$VMA (\%) = (100 - \text{volume agregat}) \dots\dots\dots(2.8)$$

7. Rongga terhadap campuran (VIM)

$$VIM (\%) = 100 - \frac{100 \times \text{berat } volume \text{ bulk}}{\text{berat jenis maksimum teoritis}} \dots\dots\dots(2.9)$$

8. Rongga yang terisi aspal (VFA)

$$VFA (\%) = (100 \times \text{volume aspal} / VMA) \dots\dots\dots(2.10)$$

9. *Volume* bulk

$$Volume \text{ bulk (cm}^3\text{)} = \text{massa SSD} - \text{massa benda dalam air} \dots\dots\dots(2.11)$$

10. Berat *volume* bulk

$$\text{Berat } volume \text{ bulk (gr/cc)} = \text{berat kering bulk} / \text{volume } bulk \dots\dots\dots(2.12)$$

Langkah selanjutnya dengan data stabilitas *Marshall* dimana nilai stabilitas data hasil pengujian benda uji telah dilakukan perhitungan. Stabilitas *Marshall* dari campuran ditentukan sebagai beban maksimum yang dibawa oleh

sampel yang telah dipadatkan pada suhu uji standar pada 60°C (Prathyusha dan Shivananda, 2018). Adapun langkah – langkah untuk mengetahui perhitungan sebagai berikut :

1. Nilai stabilitas dibaca artinya nilai stabilitas yang didapat dari jarum petunjuk angka stabilitas pada *Marshall Test*.
2. Stabilitas dihitung adalah nilai stabilitas yang didapat dari tabel kalibrasi, dengan interpolasi bagi yang tidak terdapat didalam tabel.
3. Angka koreksi didapat berdasarkan pada tabel benda uji, dengan interpolasi bagi yang tidak ada ditabel.
4. Stabilitas disesuaikan adalah nilai stabilitas hasil dari perhitungan.

Selanjutnya dilakukan pengukuran kepadatan sampel dengan perhitungan *void in mineral aggregate (VMA)*, *void in mix (VIM)*, *void in the mineral aggregate (VFA)*, *marshall qoutient (MQ)* kemudian dilakukan tes stabilitas dan *flow*.