

BAB II

LANASAN TEORI

Dalam penelitian ini, fokus utama adalah penggunaan serat kenaf sebagai bahan tambahan pada campuran beraspal tipe SMA tipis.

2.1 Aspal

Aspal didefinisikan sebagai material berwarna hitam atau coklat tua, pada temperatur ruang berbentuk padat. Jika dipanaskan sampai suhu temperatur tertentu aspal dapat menjadi lunak atau cair sehingga dapat membungkus partikel agregat pada waktu pembuatan aspal atau dapat masuk ke dalam pori-pori yang ada pada penyemprotan atau penyiraman pada perkerasan macadam ataupun pelaburan. Jika temperature mulai turun, aspal akan mengeras dan mengikat agregat pada tempatnya (sifat termoplastis) (Tenriajeng, 1999).

Lapis aspal merupakan jenis tertinggi dari perkerasan yang merupakan campuran dari birumen dengan agregat bergradasi dan cocok untuk jalan layak dilalui kendaraan berat. Suhu pencampuran ditentukan berdasarkan jenis aspal yang digunakan. Jika digunakan semen aspal, maka suhu pencampuran umumnya antara 145°-155° C, sehingga disebut aspal beton campuran panas. Campuran ini lebih dikenal juga dengan nama hotmix. Berdasarkan bentuknya, aspal dapat dibedakan menjadi 3 jenis yaitu :

- a. Aspal Keras, aspal keras pada suhu ruang (25°-30° C) berbentuk aspal padat. SMA dibedakan berdasarkan nilai penetrasi (tingkat kekerasannya). Untuk aspal dengan penetrasi rendah digunakan di daerah bercuaca panas, volume lalu lintas tinggi sedangkan aspal dengan penetrasi tinggi digunakan untuk daerah bercuaca dingin, lalu lintas daerah. Aspal keras yang biasa digunakan yaitu :

- AC Pen 40/50
- AC Pen 60/70
- AC Pen 80/100
- AC Pen 120/150

- AC Pen 200/300

- b. Aspal cair, aspal cair adalah campuran antara aspal keras dengan bahan pencair dari hasil penyulingan minyak bumi. Maka aspal cair berbentuk cair dalam temperature ruang. Aspal cair digunakan untuk keperluan lapis serap pengikat (prime coat).
- c. Aspal emulsi adalah suatu campuran aspal dengan air dan bahan pengemulsi. Pada proses ini partikel-partikel aspal padat dipisahkan dan didispersikan dalam air.

Aspal untuk lapis aspal beton harus terdiri dari salah satu aspal keras penetrasi 60/70 atau 80/100 yang seragam, tidak mengandung air, bila dipanaskan sampai dengan 175°C tidak berbusa, dan memenuhi persyaratan berdasarkan *Thin Film Oven Test* (AASHTO T-179)

Tabel 2. 1 persyaratan aspal penetrasi 60/70

NO	Jenis pengujian	Metode SNI 06-24561991	Persyaratan
1	Penetrasi 25°C; 100 gr; 5 detik; (0,1mm)		60-70
2	Titik lembek (°C)	SNI 06-2434-1991	48-58
3	Titik nyala dan titik bakar	SNI 06-2433-1991	Min. 200
4	BERAT JENIS (Gr/Cc)	SNI 06-2441-1991	Min. 1
5	Kehilangan berat (%)	SNI 06-2440-1991	Maks. 0,8
6	Daktalitas (cm)	SNI 06-2432-1991	Min. 100

Sumber : Spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum Dirjen Bina Marga.

2.2 Agregat

Agregat didefinisikan secara umum sebagai formasi kulit bumi yang keras dan padat. ASTM (1974) mendefinisikan agregat sebagai suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa masa berukuran besar ataupun berupa fragmen-fragmen. Agregat merupakan komponen utama dari struktur perkerasan jalan, yaitu 90-95% agregat berdasarkan persentase berat, atau 75-85% agregat berdasarkan persentase volume. Dengan demikian kualitas perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain. Sifat agregat yang menentukan kualitasnya sebagai material perkerasan jalan adalah gradasi, kebersihan, kekerasan dan ketahanan agregat, bentuk butir, tekstur permukaan, porositas, kemampuan untuk menyerap air, berat jenis, dan daya pelekatan dengan aspal (Sukirman, 2003).

Agregat atau batu, atau granular material adalah material berbutir yang keras dan kompak. Istilah agregat mencakup antara lain batu bulat, batu pecah, abu batu, dan pasir. Agregat mempunyai peranan yang sangat penting dalam prasarana transportasi, khususnya dalam hal ini pada perkerasan jalan. Daya dukung perkerasan jalan ditentukan sebagian besar oleh karakteristik agregat yang digunakan. Pemilihan agregat yang tepat dan memenuhi persyaratan akan sangat menentukan dalam keberhasilan pembangunan atau pemeliharaan jalan

Sebagai bahan lapis perkerasan, agregat berperan dalam mendukung dan menyebarkan beban roda kendaraan berlapis tanah.

Secara umum agregat diklasifikasikan antara lain:

1. Ditinjau dari asal bahan
2. Berdasarkan proses pengolahan
3. Berdasarkan besar partikel-partikel agregat

Sifat dan kualitas agregat menentukan kemampuannya dalam memikul beban lalu lintas karena dibutuhkan untuk lapisan permukaan yang langsung memikul beban di atasnya dan menyebarkan kelapisan dibawahnya. Kualitas suatu agregat sangat dipengaruhi oleh sifat – sifat yang ada yaitu *strength* atau kekuatan, *durability* atau

keawetan, *adhesiveness* atau daya rekat terhadap aspal dan *workability* atau kemudahan dalam pelaksanaan.

2.2.1 Agregat Kasar

Fraksi agregat kasar untuk rancangan adalah yang tertahan saringan No.4 (4,75 mm) dan haruslah bersih, keras, awet dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya dan memenuhi ketentuan. Fraksi agregat kasar harus batu pecah atau kerikil pecah dan harus disiapkan dalam ukuran nominal. Agregat kasar harus mempunyai *angularitas* yaitu persen terhadap berat agregat yang lebih besar dari 2,36 mm dengan muka bidang pecah satu atau lebih. Ukuran maksimum (*maximum size*) agregat adalah satu saringan yang lebih besar dari ukuran nominal maksimum (*nominal maximum size*). Ukuran nominal maksimum adalah satu saringan yang lebih kecil dari saringan pertama (teratas) dengan bahan A tertahan kurang dari 10%, yang terdapat dalam Tabel 2.2

Tabel 2.2 Spesifikasi Gradasi Agregat Kasar

Pengujian		Standar	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan natrium dan magnesium sulfat		SNI 3407:2008	Maks.18 %
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Campuran AC modifikasi	SNI 2417:2008	Maks. 30%
	Semua jenis campuran aspal bergradasi lainnya		Maks. 40%
Pengujian		Standar	Nilai
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 2439 : 2011	Min. 95 %
Butir Pecah pada agregat kasar		SNI 7619 : 2012	95/90 ^{*)}

Partikel Pipih dan Lonjong	ASTM D4791-10 Perbandingan 1 :5	Maks. 10 %
Material lolos Ayakan No.200	SNI ASTM C 117:2002	Maks. 1 %

Sumber :Direktorat Jenderal Bina Marga 2018

2.2.3 Agregat Halus

Agregat halus harus merupakan bahan yang bersih, keras, bebas dari lempung, atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya. Agregat halus harus diperoleh dari batu yang memenuhi ketentuan mutu. Agar dapat memenuhi ketentuan mutu, batu pecah halus harus diproduksi dari batu yang bersih. Agregat halus dari sumber bahan manapun, harus terdiri dari pasir atau penyaringan batu pecah dan terdiri dari bahan yang lolos saringan No.4 (4,75 mm).

Untuk memperoleh agregat halus yang memenuhi ketentuan adalah sebagai berikut:

1. Bahan baku untuk agregat halus harus dicuci terlebih dahulu secara mekanis sebelum dimasukkan ke dalam mesin pemecah batu.
2. Digunakan *scalping screen*, dari hasil pemecah batu tahap pertama tidak boleh langsung digunakan.
3. Diperoleh dari hasil tahap pertama harus di pisahkan dengan *vibro scalping screen* antara mesin pemecah tahap pertama dengan mesin pemecah tahap kedua.
4. Material tertahan oleh *vibro scalping screen* akan dipecah oleh mesin pemecah tahap kedua, hasil pengayakan dapat digunakan sebagai agregat halus.
5. Material lolos *vibro scaling screen* hanya boleh digunakan sebagai komponen material Lapis Fondasi Agregat.

Fraksi agregat kasar, agregat halus pecah mesin dan pasir harus ditumpuk terpisah, dan harus memenuhi ketentuan yang terdapat dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Spesifikasi Gradasi Agregat Halus

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

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga 2018

2.3 Stone Mastic Asphalt (SMA) Tipe Tipis

2.3.1 Definisi dan Karakteristik

Stone Mastic Asphalt (SMA) adalah jenis campuran beraspal yang dirancang untuk memberikan ketahanan tinggi terhadap deformasi permanen akibat beban lalu lintas berat. SMA menggunakan gradasi agregat kasar yang membentuk kerangka saling mengunci (interlocking), sehingga meningkatkan stabilitas mekanis. Binder atau pengikat dalam campuran SMA memiliki kadar yang relatif lebih tinggi dibandingkan campuran aspal konvensional untuk memastikan fleksibilitas dan ketahanan terhadap retak.

SMA tipe tipis adalah varian SMA yang diterapkan dengan ketebalan lapisan antara 2 hingga 4 cm. Jenis ini cocok untuk perkerasan jalan yang membutuhkan lapisan pelindung atau perbaikan tanpa menambah tinggi perkerasan secara signifikan. Ketebalan tipis ini menjadikannya efisien dalam penggunaan material,

namun tetap memberikan kinerja yang andal untuk jalan dengan volume lalu lintas tinggi.

2.1.2 Keunggulan dan Tantangan SMA

Keunggulan SMA tipe tipis meliputi:

1. Ketahanan aus: SMA memiliki kemampuan luar biasa dalam menahan abrasi dari roda kendaraan, terutama pada jalan yang sering dilewati kendaraan berat.
2. Stabilitas terhadap deformasi: Struktur gradasi kasar dan matriks binder yang tinggi memberikan stabilitas pada beban vertikal yang signifikan.
3. Daya tahan terhadap cuaca ekstrem: SMA mampu mempertahankan performa baik di lingkungan panas maupun dingin.

Namun, SMA juga memiliki beberapa tantangan, terutama dalam proses produksi dan aplikasi:

1. Risiko segregasi: Campuran SMA cenderung mengalami segregasi, yaitu pemisahan antara agregat dan binder selama pencampuran, pengangkutan, atau aplikasi.
2. Biaya lebih tinggi: Penggunaan binder yang lebih banyak dan potensi penambahan bahan aditif seperti serat meningkatkan biaya produksi.
3. Kesulitan kontrol gradasi: Karena membutuhkan gradasi yang lebih spesifik, proses kontrol kualitas dalam produksi SMA lebih kompleks.

Tabel 2.4 Amplop gradasi agregat gabungan SMA Tipis

Ukuran Saringan (ASTM)	Mm	% lolos (berat terhadap total agregat)
1/2	12,5	100
3/8	9,5	70 – 95
No.4	4,75	30 – 50
No.8	2,36	20 – 30

No.16	1,18	14 – 21
No.30	0,600	12 – 18
No.50	0,300	10 -15
No.200	0,075	8 – 12

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2

2.4 Penggunaan Serat dalam Campuran Beraspal

Penggunaan serat sebagai bahan tambahan dalam campuran beraspal telah menjadi salah satu inovasi utama dalam industri konstruksi jalan. Serat ditambahkan untuk meningkatkan sifat mekanik campuran, seperti kekuatan tarik, ketahanan terhadap retak, dan stabilitas struktural. Secara umum, serat yang digunakan dalam campuran beraspal dapat dibagi menjadi dua kategori:

1. Serat sintetis: Termasuk serat polipropilena, poliester, dan asbes. Serat ini dikenal memiliki sifat mekanik yang unggul, tetapi memiliki kelemahan seperti biaya yang tinggi dan dampak lingkungan yang negatif.
2. Serat alami: Termasuk serat kenaf, serat kelapa, serat bambu, dan serat rami. Serat alami memiliki keunggulan dalam hal keberlanjutan, ketersediaan, dan ramah lingkungan, meskipun sifat mekaniknya cenderung lebih rendah dibandingkan serat sintetis.

Studi menunjukkan bahwa penambahan serat pada campuran beraspal dapat:

1. Meningkatkan stabilitas dan kekuatan tarik: Serat bertindak sebagai pengikat yang meningkatkan integritas struktural campuran.
2. Mengurangi retak termal dan kelelahan: Dengan menambahkan fleksibilitas, serat mampu mengurangi kemungkinan retak akibat siklus termal atau beban berulang.
3. Memperpanjang umur layan: Campuran beraspal yang diperkuat serat cenderung memiliki daya tahan yang lebih baik terhadap deformasi dan kerusakan lingkungan.

Namun, pengaruh serat sangat tergantung pada jenis serat yang digunakan, konsentrasi serat, dan metode pencampuran. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk menentukan parameter optimal penggunaan serat pada jenis campuran tertentu.

2.5 Serat Kenaf sebagai Bahan Tambahan

2.5.1 Sifat Fisik dan Kimia Serat Kenaf

Serat kenaf berasal dari kulit batang tanaman *Hibiscus cannabinus*. Tanaman ini merupakan sumber serat alami yang cepat tumbuh, dengan tinggi mencapai 4-5 meter dalam waktu 4-5 bulan. Serat kenaf memiliki sifat-sifat fisik dan kimia yang menjadikannya unggul sebagai bahan tambahan dalam aplikasi konstruksi, antara lain:

1. Kekuatan tarik tinggi: Serat kenaf memiliki kekuatan tarik yang dapat menahan gaya tarik selama proses pencampuran dan aplikasi aspal.
2. Ringan: Densitas serat kenaf relatif rendah, sehingga tidak membebani campuran secara signifikan.
3. Sifat penyerapan aspal: Struktur serat kenaf memungkinkan penyerapan aspal yang efektif, membantu mengurangi bleeding.

2.5.2 Potensi Aplikasi dalam Campuran Beraspal

Serat kenaf memiliki beberapa manfaat utama ketika digunakan dalam campuran beraspal, khususnya SMA tipe tipis:

1. Peningkatan stabilitas campuran: Dengan membantu mengikat binder dan agregat, serat kenaf mengurangi risiko segregasi dan meningkatkan konsistensi campuran.
2. Ketahanan deformasi: Serat kenaf membentuk matriks pendukung dalam campuran aspal yang membantu menahan beban lalu lintas berat tanpa deformasi permanen.
3. Sifat ekologis: Sebagai bahan alami yang terurai secara hayati, serat kenaf adalah alternatif yang lebih ramah lingkungan dibandingkan serat sintetis seperti polipropilena atau poliester.

Selain itu, serat kenaf memberikan nilai tambah dari sisi keberlanjutan karena berasal dari sumber yang dapat diperbarui dan memiliki jejak karbon rendah dibandingkan bahan aditif non-alami.

2.6 Pengaruh Serat Kenaf pada Kinerja Campuran Beraspal

2.6.1 Penyerapan dan Retensi Aspal

Serat kenaf memiliki struktur mikroskopis yang memungkinkan penyerapan binder aspal ke dalam pori-porinya. Proses ini membantu meminimalkan bleeding, yaitu keluarnya aspal berlebih ke permukaan campuran yang sering terjadi pada campuran dengan kadar binder tinggi seperti SMA. Penyerapan aspal oleh serat juga meningkatkan distribusi binder dalam campuran, yang pada akhirnya memperbaiki ketahanan terhadap deformasi.

2.6.2 Interaksi Serat dengan Agregat

Saat dicampurkan, serat kenaf berfungsi sebagai penghubung tambahan antara partikel agregat dalam campuran. Serat ini membantu menciptakan ikatan yang lebih kuat antara agregat dan binder, meningkatkan daya tahan campuran terhadap gaya geser dan beban vertikal. Selain itu, distribusi serat yang merata dalam campuran menciptakan struktur yang lebih homogen, sehingga mengurangi titik lemah yang dapat menyebabkan kerusakan prematur.

2.6.3 Perbaikan Sifat Mekanik

Pengaruh mekanik serat kenaf telah dipelajari dalam berbagai aplikasi, termasuk aspal. Studi menunjukkan bahwa serat kenaf dapat meningkatkan beberapa sifat mekanik penting dalam campuran SMA, di antaranya:

1. Stabilitas Marshall: Stabilitas ini meningkat karena serat memberikan kekuatan tambahan dan mengurangi deformasi plastis.
2. Ketahanan terhadap kelelahan: Serat kenaf membantu memperpanjang umur kelelahan campuran aspal dengan menyerap energi selama proses deformasi dan retak.

3. Daya tahan terhadap perubahan suhu: Serat kenaf berfungsi sebagai penguat fleksibilitas campuran, menjaga performa baik dalam suhu panas maupun dingin.

2.6.4 Pengaruh terhadap Ketahanan Lingkungan

Sifat biodegradable serat kenaf memiliki keuntungan jangka panjang dalam hal pengelolaan limbah konstruksi. Dalam konteks keberlanjutan, penggunaan serat ini juga dapat mengurangi ketergantungan pada bahan aditif sintetis, yang sering kali berkontribusi pada pencemaran lingkungan.

2.7 Pengujian Kinerja Campuran Beraspal dengan Serat Kenaf

Untuk menilai pengaruh penggunaan serat kenaf terhadap kinerja campuran beraspal tipe SMA tipis, sejumlah pengujian dilakukan untuk mengukur sifat mekanis, termal, dan ketahanan campuran terhadap beban. Berikut adalah kajian teori dari beberapa pengujian utama yang relevan:

2.7.1 Marshall Test

Pengujian *Marshall* (*Marshall Test*) adalah suatu metode pengujian untuk mengetahui nilai ketahanan (stabilitas) dan kelelahan Plastis (*flow*) campuran beraspal. Ketahanan adalah kemampuan menerima beban sampai terjadi kelelahan plastis, dinyatakan dalam satuan kilogram atau *pound*. Dengan kata lain stabilitas *Marshall* dimaksudkan sebagai beban maksimum yang dapat diterima oleh campuran sebelum runtuh. Sedangkan kelelahan plastis adalah perubahan bentuk campuran aspal yang terjadi akibat suatu beban hingga batas runtuh, yang dinyatakan dalam. Sebelum pengujian *Marshall* terlebih dahulu dilakukan proses perendaman benda uji. Proses perendaman benda uji dilakukan pada suhu 60° C selama 30-45 menit dan 24 jam dan melakukan pengujian *Marshall* untuk mengetahui sifat mekanik benda uji yaitu stabilitas dan *flow*.

Dalam penelitian ini pengujian Marshall dilakukan untuk memperoleh nilai stabilitas, flow, VIM dan VMA.

1) Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas merupakan kemampuan lapis keras untuk menahan deformasi akibat beban lalu lintas yang bekerja di atasnya tanpa mengalami perubahan bentuk tetap seperti gelombang (*wash boarding*) dan alur (*rutting*). Nilai stabilitas dipengaruhi oleh bentuk, kualitas, tekstur permukaan dan gradasi agregat yaitu gesekan antar butiran agregat *internal friction* dan penguncian antar agregat (*interlocking*), daya lekat *cohesion* dan kadar aspal dalam campuran.

Penggunaan aspal dalam campuran akan menentukan nilai stabilitas campuran tersebut. Seiring dengan penambahan aspal, nilai stabilitas akan meningkat hingga batas maksimum. Penambahan aspal di atas batas maksim justru akan menurunkan stabilitas campuran itu sendiri hingga lapis perkerasan menjadi kaku dan bersifat getas. Nilai stabilitas berpengaruh terhadap fleksibilitas lapis perkerasan yang dihasilkan. Stabilitas dinyatakan dalam satuan kg dan diperoleh dari pembacaan arloji pada alat uji *marshall* dengan rumus sebagai berikut (Lab. Jalan dan Aspal, 2000).

$Stability = O \times E' \times Q$ Dimana :

$Stability$ = Stabilitas Marshall (kg)

O = Pembacaan arloji stabilitas (Lbf)

E' = Angka korelasi volume benda uji

Q = Kalibrasi alat *Marshall*

3) Kelelehan (*Flow*)

Kelelehan adalah besarnya 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 diterimanya. 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. Nilai VFA yang berlebihan juga menyebabkan aspal dalam campuran berubah konsistensinya menjadi pelicin antar batuan. Nilai *Flow* dipengaruhi oleh kadar dan viskositas aspal, gradasi agregat, jumlah dan temperatur pemadatan.

Campuran yang memiliki angka kelelahan rendah dengan stabilitas tinggi cenderung menjadi kaku dan getas. Sedangkan campuran yang memiliki angka kelelahan tinggi dan stabilitas rendah cenderung plastis dan mudah berubah bentuk apabila mendapat beban lalu lintas. Kerapatan campuran yang baik, kadar aspal yang cukup dan stabilitas yang cukup dan stabilitas yang baik akan memberikan pengaruh penurunan nilai *flow*. Nilai *Flow* yang rendah akan mengakibatkan campuran menjadi kaku sehingga lapis perkerasan menjadi mudah retak, sedangkan campuran dengan nilai *flow* tinggi akan menghasilkan lapis perkerasan yang plastis sehingga perkerasan akan mudah mengalami perubahan bentuk seperti gelombang (*washboarding*) dan alur (*rutting*).

4) *Void in the mix*(VIM)

Void in the mix (VIM) merupakan persentase rongga yang terdapat dalam total campuran. Nilai VIM berpengaruh terhadap keawetan lapis perkerasan, semakin tinggi nilai VIM menunjukkan semakin besar rongga dalam campuran sehingga campuran bersifat porous. Hal ini mengakibatkan campuran menjadi kurang rapat sehingga air dan udara mudah memasuki rongga-rongga dalam campuran yang mengakibatkan aspal mudah teroksidasi sehingga menyebabkan lekatan antar butiran agregat berkurang sehingga terjadi pelepasan butiran (*revelling*) dan pengelupasan permukaan (*stripping*) pada lapis perkerasan.

Nilai VIM yang terlalu rendah akan menyebabkan *bleeding* karena suhu yang tinggi, maka viskositas aspal menurun sesuai sifat termoplastisnya. Pada saat itu apabila lapis perkerasan menerima beban lalu lintas maka aspal akan terdesak keluar permukaan karena tidak cukupnya rongga bagi aspal untuk melakukan penetrasi dalam lapis perkerasan. Nilai VIM yang lebih dari ketentuan akan mengakibatkan berkurangnya keawetan lapis perkerasan, karena rongga yang terlalu besar akan mudah terjadi oksidasi.

Dalam hal ini perhitungan volume sampel tidak dilakukan dengan perendaman sampel dalam air dikarenakan berat kering permukaan jenuh (*SSD*) pada aspal porous tidak akan terjadi sebagai akibat dari porousnya campuran.

2) *Void in mineral aggregate* (VMA)

Void in mineral aggregate (VMA) adalah rongga udara antar butir agregat aspal padat, termasuk rongga udara dan kadar aspal efektif yang dinyatakan dalam persen terhadap total volume. Kuantitas 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.

Nilai VMA dipengaruhi oleh faktor pemadatan, yaitu jumlah dan temperatur pemadatan, gradasi agregat dan kadar aspal. Nilai VMA ini berpengaruh pada sifat kekedenan campuran terhadap air dan udara serta sifat elastis campuran. Dapat juga dikatakan bahwa nilai VMA menentukan stabilitas, fleksibilitas, dan durabilitas. Nilai VMA diperoleh dengan rumus (Laboratorium Rekayasa Transportasi, 2010):

$$\text{VMA} = 100 - \frac{100 - P_b}{G_{sb}} \times G_{mb}$$

Dimana :

VMA = Volume pori antara butir agregat didalam beton aspal padat (%)

G_{sb} = Berat jenis kering total agregat

P_b = Kadar aspal (%)

G_{mb} = Berat volume kering campuran (gram/cm³)

2.7.2 Penentuan KAO

Penentuan KAO campuran aspal porus dalam penelitian ini menggunakan metode *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA).

Cara menghitung kadar aspal ideal dengan menggunakan rumus $p_b = 0.035(\%CA) + 0.045(\%FA) + 0.18(\%FF) + K$

Dimana:

P_b = Kadar aspal perkiraan

CA = Agregat kasar tertahan saringan No.4

FA = Agregat halus lolos saringan No.4 sampai saringan No. 200

FF = Agregat Halus lolos saringan No.200

K = Konstanta

2.7.3 Draindown test

Campuran SMA memiliki kadar aspal yang cukup tinggi, sehingga sangat berpotensi terjadinya pengaliran aspal yang dapat mempengaruhi kualitas campuran SMA. *Draindown test* dilakukan untuk mengetahui pengaliran yang terjadi dengan menggunakan wadah piring aluminium untuk menampung kelelehan bahan perekat selama pengujian.

Pada pengujian di laboratorium, setiap campuran yang diteliti harus diuji pada 2(dua) temperatur, yaitu pada temperatur produksi dan 15°C lebih tinggi dari temperatur produksi. Pengujian duplo harus dilakukan untuk setiap jenis campuran, sehingga terdapat minimal 4 buah benda uji untuk setiap jenis campuran. Campuran SMA yang belum dipadatkan, ditempatkan kedalam 4 wadah keranjang kawat sebagai benda uji, suhu campuran dijaga agar tidak turun dibawah temperatur pengujian lebih dari 25°C.

Pengujian benda uji untuk masing-masing temperatur pengujian dilakukan dengan cara memanaskan benda uji di dalam oven selama 60 ± 5 menit, namun jika ternyata suhu campuran tersebut telah turun lebih dari 25°C di bawah temperatur pengujian, maka benda uji harus dipanaskan dalam oven selama 70 ± 5 menit. Setelah proses pemanasan didalam oven selesai, maka dihitung persentase *mastic* atau bahan perekat dari campuran yang di uji, yang tertinggal di dalam piring aluminium/yang telah meleleh keluar dari keranjang kawat.

Nilai *draindown test*, merupakan rata-rata dari masing-masing pengujian campuran, yang dinyatakan dalam persentase (%).

Nilai *draindown* dihitung dengan

$$\text{Nilai draindown} = \frac{A - B}{C} \times 100$$

dengan:

Draindown : persentase agregat dan aspal yang tertinggal (%)

A : berat akhir piring penampung (gram)

B : berat awal piring penampung (gram)

C : berat awal jumlah campuran yang di uji (gram)

SNI 8129:2015 mengatur nilai *draindown* dari semua jenis campuran SMA tidak boleh melebihi $<0,3\%$ dari keseluruhan berat campuran tersebut.

2.8 Penelitian Terdahulu

Penelitian yang dilakukan oleh Guo *et al.* (2023) mengevaluasi penggunaan berbagai jenis serat alami, termasuk serat kelapa, bambu, dan kenaf, dalam campuran beraspal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan serat alami dapat meningkatkan stabilitas dan Marshall Quotient pada campuran, dengan catatan bahwa kadar serat harus diatur agar distribusi dalam campuran tetap merata. Penelitian ini menyoroti potensi serat kenaf sebagai bahan tambahan karena memiliki kekuatan tarik tinggi dan sifat ramah lingkungan. Zakaria *et al.* (2015) juga secara khusus membahas pemanfaatan serat kenaf dalam campuran aspal untuk meningkatkan ketahanan terhadap deformasi dan retak. Penelitian ini mencatat bahwa penambahan 0,3%-0,5% serat kenaf berdasarkan berat aspal memberikan hasil terbaik dalam meningkatkan stabilitas dan ketahanan retak termal. Serat kenaf juga membantu meningkatkan ketahanan terhadap air melalui pengikatan yang lebih baik antara agregat dan aspal. Penelitian oleh Karami *et al.* (2020) menunjukkan bahwa serat kenaf dapat meningkatkan ketahanan terhadap deformasi plastis pada suhu tinggi. Pengujian dilakukan menggunakan uji rutting dan uji wheel-tracking. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa serat kenaf membantu menjaga integritas struktural campuran beraspal, terutama di daerah dengan suhu tinggi atau beban lalu lintas berat.