

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Laston

2.1.1 Pengertian Laston

Laston merupakan lapisan aspal beton atau biasa disebut juga dengan *Asphalt Concrete* (AC) yang digunakan sebagai perkerasan pada konstruksi jalan. Menurut Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang (DPUPR) Kabupaten Grobogan, Laston tersusun dari beberapa material diantaranya campuran agregat halus, agregat kasar, aspal, serta *filler* yang dipadatkan dan diratakan pada suhu panas tertentu. Adapun jenis-jenis laston terbagi menjadi tiga yaitu AC Lapis Aus (AC-WC), AC Lapis Antara (AC-BC), dan AC Lapis Pondasi (AC-Base).

2.1.2 Karakteristik Laston

Laston merupakan lapisan aspal beton dengan salah satu pengujian yang harus dilakukan guna memenuhi karakteristik yang disyaratkan adalah pengujian *marshall*. Adapun beberapa karakteristik Laston dan metode pelaksanaan yang harus dipenuhi berdasarkan spesifikasi umum Bina Marga adalah sebagai berikut.

Tabel 2. 1 Karakteristik Laston

Sifat-sifat campuran		LASTON AC-WC
Jumlah tumbukan per bidang		75
Rasio partikel lolos ayakan 0,0075 mm dengan kadar aspal efektif	Min.	0,6
	Maks.	1,6
Rongga dalam campuran (VMI) (%)	Min.	3,0
	Maks.	5,0
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min.	15
Rongga terisi aspal (VFA) (%)	Min.	65
Stabilitas marshall (kg)	Min.	800
Pelelehan (mm)	Min.	2
	Maks.	4

Stabilitas marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 derajat C	Min.	90
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan marshall (refusal)	Min.	2

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2, 2018

Berdasarkan tabel diatas, dijelaskan bahwa pada Laston jenis AC-WC, dalam pembuatannya dilakukan penumbukan sebanyak 75 kali pada masing-masing bidang dengan nilai rongga yang ada dalam campuran Laston AC-WC terbentuk, nilai stabilitas, nilai pelelehan (*flow*), stabilitas setelah melalui perendaman, dan rongga dalam campuran kepadatan *marshall* harus sesuai dan/atau memenuhi nilai pada tabel tersebut.

2.2 Material Penyusun Laston

2.2.1 Aspal

Aspal merupakan suatu material atau bahan yang bersifat padat atau setengah padat yang berwarna hitam hingga coklat tua dan bila dipanaskan pada suhu tertentu akan mencair (Dinas Pekerjaan Umum Kulon Progo, 2022). Selain LASTON, aspal yang akan digunakan dalam percobaan pembuatan LASTON juga harus memenuhi karakteristik aspal. Adapun beberapa karakteristik aspal yang harus dipenuhi akan dijelaskan melalui tabel berikut.

Tabel 2. 2 Karakteristik Aspal

Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Persyaratan
Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 2456:2011	60-70
Viskositas kinematis 135°C (Cst)	ASTM D217-10	$\geq 300 \leq$
Titik lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 48
Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2434:2011	≥ 100
Titik nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥ 232
Kelarutan dalam Trichloroethylene	AASHTO T44-14	≥ 99
Berat jenis	SNI 2441:2011	$\geq 0,1$
Pengujian residu hasil TFOT		

Berat yang hilang	SNI 06-2441-1991	
Penetrasi pada 25°C (% semula)	SNI 2456:2011	≥ 54
Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥ 50

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2, 2018

Berdasarkan tabel diatas, ada beberapa karakteristik aspal yang harus dipenuhi sebelum dicampurkan ke dalam campuran Laston. Adapun nilai-nilai yang harus dipenuhi antara lain nilai penetrasi pada aspal, titik lembek, daktilitas, titik nyala, dan berat jenis harus sesuai dengan nilai yang disyaratkan dalam pedoman Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2 tahun 2018.

Aspal didapatkan dari bahan alam maupun aspal sintetis yang diperoleh dari sisa pengilangan minyak bumi (residu). Berdasarkan sifat dan jenisnya, aspal sintetis dibedakan menjadi:

1. Aspal Keras

Aspal keras atau bisa juga disebut dengan *Asphalt cement* merupakan aspal padat atau semi padat ketika berada di suhu ruang dan akan meleleh jika dipanaskan. Penggunaan aspal ini harus dipanaskan terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai bahan pengikat agregat (Wanggi F, 2020).

2. Aspal Cair

Aspal cair yakni aspal padat yang dicairkan dengan bahan pencair hasil penyulingan minyak bumi dan sudah berbentuk cair pada suhu ruang (Wanggi F, 2020). Adapun jenis aspal ini dibedakan menjadi tiga berdasarkan bahan pencairnya, yaitu:

- *Rapid Curing Cut Back Asphalt* (RC) atau aspal cair cepat mantap, yaitu aspal cair yang menggunakan bensin sebagai bahan pencairnya dan jenis ini adalah aspal cair yang paling cepat menguap (Pandelaki dan Dipl, 1979).
- *Medium Curing Cut Back Asphalt* (MC) atau aspal cair mantap sedang, yakni aspal cair yang menggunakan minyak tanah sebagai bahan pelarutnya dan jenis ini merupakan aspal cair yang bahan pelarutnya tidak terlalu cepat dalam penguapan (Pandelaki dan Dipl, 1979).

- *Slow Curing Cut Back Asphalt* (SC) atau aspal cair lambat mantap merupakan aspal cair yang menggunakan solar sebagai pelarutnya dan merupakan jenis aspal yang bahan pelarutnya lambat menguap (Pandelaki dan Dipl, 1979).

3. Aspal Emulsi

Aspal emulsi merupakan campuran aspal dengan air dan bahan pengemulsi dimana proses pencampuran dilakukan di pabrik. Pada aspal emulsi butir-butir aspal terlarut dalam air, sehingga untuk menghindari butiran aspal yang saling menarik membentuk butir-butiran yang lebih besar, maka diberi muatan listrik pada butir-butir tersebut (Wanggi F, 2020). Aspal emulsi dibagi menjadi tiga berdasarkan kandungan muatan listrik :

- Aspal emulsi anionik
- Aspal emulsi kationik
- Aspal emulsi non-ionik

2.2.2 Agregat

Menurut Pedoman Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil Bina Marga (2018), agregat merupakan sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir-batu, pasir dan atau mineral lain serta kombinasi dari bahan tersebut, baik dari hasil alam maupun buatan. Pemilihan sifat dan banyaknya agregat yang akan digunakan tentu mempengaruhi kualitas Laston pada nilai stabilitas, *flow*, *density*, dan Marshall Quotient (MQ). Dikarenakan penggunaan agregat merupakan komponen penting dalam pembuatan lapis perkerasan pada jalan, maka dalam pembuatannya dibutuhkan 90-95% agregat berdasarkan persentase berat atau 75-85% berdasarkan persentase volume (Sukirman Silvia, 2016). Agregat terbagi menjadi dua jenis, yaitu:

1. Agregat Kasar

Agregat kasar adalah agregat yang tertahan pada saringan No.4 (4,75 mm), terbebas dari lempung, merupakan hasil pecah mesin, dan disiapkan dalam ukuran nominal yang sesuai dengan jenis campuran yang sudah direncanakan yaitu tertahan saringan $\frac{1}{2}$ inci dan $\frac{3}{8}$ inci (Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2,

2018). Sebelum melalui proses pemakaian pembuatan aspal beton, ada beberapa karakteristik agregat kasar yang harus dipenuhi, antara lain sebagai berikut.

Tabel 2. 3 Karakteristik Agregat Kasar

Pengujian		Metode Uji	Persyaratan
Kekekalan bentuk slag dan agregat kasar terhadap larutan:			
Natrium Sulfat/Sodium Sulfat (5 siklus)		SNI 3407:2008	Maks. 12%
Magnesium Sulfat			Maks. 18%
Keausan slag dan agregat kasar pada 500 putaran dengan mesin abrasi Los Angeles	Laston	SNI 2417:2008	Maks. 40%
	Laston Modifikasi		Maks. 30%
Kelekatan slag dan agregat kasar terhadap aspal		SNI 2439:2011	Min. 95%
Butir pecah slag dan agregat kasar		SNI 7619:2012	95/90
Partikel pipih dan lonjong		ASTM D4791	Maks. 10%
Material lolos saringan No. 200 (0,075 mm)		SNI ASTM C117:2012	Maks. 2%

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2, 2018

Berdasarkan tabel diatas, dapat diketahui bahwa sebelum agregat kasar dicampurkan ke dalam campuran Laston, perlu dilakukan beberapa pengujian guna mengetahui kesesuaian karakteristik agregat kasar tersebut dengan yang disyaratkan pada pedoman Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2 tahun 2018. Adapun pengujian dan/atau pengecekan yang harus dilakukan yakni keausan agregat, bentuk agregat, ukuran agregat, dan sebagainya.

2. Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat yang lolos dari saringan No.200 (0,075 mm) berupa batu pecah atau pasir alam dengan 15% penggunaan maksimum dari berat total campuran (Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2, 2018). Sebelum dicampurkan dengan aspal dalam pembuatan aspal beton, ada beberapa karakteristik agregat halus yang harus dipenuhi, antara lain sebagai berikut.

Tabel 2. 4 Karakteristik Agregat Halus

Pengujian	Metode Uji	Persyaratan
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 60%
Angularitas dengan uji kadar rongga	SNI 03-6877-2002	Min. 45%
Gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam slag dan agregat halus	SNI 03-4141-2015	Maks. 1%
Material lolos saringan No. 200 (0,075 mm)	SNI ASTM C117:2012	Maks. 10%

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2, 2018

Berdasarkan tabel diatas, dapat diketahui bahwa sebelum dicampurkan dengan campuran Laston, terlebih dahulu agregat halus harus melalui beberapa pengujian guna mengetahui kesesuaian karakteristik agregat halus dengan yang disyaratkan pada pedoman Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2 tahun 2018. Adapun pengujian yang harus dilakukan meliputi ukuran butiran, kadar lempung, dan sebagainya.

2.2.3 Gradasi Campuran

Dalam perencanaan pembuatan lapis aspal beton ada spesifikasi gradasi campuran yang harus terpenuhi. Menurut spesifikasi umum Pedoman Bahan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil Bina Marga Revisi 2 tahun 2018, persyaratan gradasi campuran beraspal panas dijelaskan pada tabel berikut.

Tabel 2. 5 Karakteristik Laston

Ukuran Ayakan	Persen Berat Lolos Terhadap Total Agregat Dalam Campuran
	Laston AC-WC atau Laston AC-WC Modifikasi
1 ½ in (37,5 mm)	
1 in (25 mm)	
¾ in (19 mm)	100
½ in (12,5 mm)	90-100
⅜ in (9,5 mm)	77-90
No. 4 (4,75 mm)	53-69
No. 8 (2,36)	33-53

No. 16 (1,18 mm)	21-40
No. 30 (0,60 mm)	14-30
No. 50 (0,30 mm)	9-22
No. 100 (0,15 mm)	6-15
No. 200 (0,075 mm)	4-9

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2, 2018

Dalam melakukan pembuatan Laston, gradasi campuran yang akan dituang ke dalam campuran Laston terlebih dahulu diuji guna mengetahui kesesuaian karakteristik dengan yang disyaratkan pada Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2 tahun 2018 seperti tabel diatas dan berisi interval jumlah presentase pada setiap butiran.

2.2.4 *Added Filler*

Added filler adalah bahan pengisi Laston berupa material lolos ayakan No.200 (0,075mm) minimal 75% dari beratnya, kering dan bebas dari gumpalan. *Added filler* atau bahan pengisi terdiri atas semen dan/atau abu terbang dengan penggunaan maksimum 2% dari berat total campuran aspal (Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2, 2018). Dalam penelitian ini, penggunaan *added filler* semen yang sesuai dengan spesifikasi menjadi campuran konvensional. Sebelum dicampurkan dengan aspal, *added filler* atau bahan pengisi harus memenuhi karakteristik. Adapun beberapa karakteristik yang harus terpenuhi adalah sebagai berikut.

Tabel 2. 6 Karakteristik *Filler*

Saringan	Lolos (%)
No. 30 (0,600 mm)	100
No. 50 (0,300 mm)	90-100
No. 200 (0,075 mm)	75-100

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2, 2018

Added filler yang akan ditambahkan pada campuran Laston, terlebih dahulu dilakukan pengujian guna mengetahui kesesuaian penggunaan material dengan yang disyaratkan pada Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2 tahun 2018 seperti

pada tabel diatas. Tabel tersebut berisi presentase ukuran butiran yang lolos pada saringan yang disyaratkan.

2.3 Laston AC-WC

Laston AC-WC adalah lapisan aspal beton yang terdiri dari campuran agregat dengan aspal dalam kadar tertentu yang biasa disebut juga dengan lapisan aus. Laston AC-WC merupakan salah satu perkerasan lunak (*flexible pavement*) yang sering digunakan. LASTON AC-WC ini terletak pada bagian atas atau biasa disebut dengan *surface course* dengan tebal minimum 4 cm sesuai standar SNI 03-1737-1991.

2.4 Inovasi Material

2.4.1 Abu Sekam Padi

Abu sekam padi merupakan hasil dari pembakaran limbah penggilingan padi, yakni sekam berbentuk butiran-butiran halus (Nugraha, 1989; Ridawan F et al, 2017). Indonesia yang dikenal sebagai negara agraris memiliki hasil panen padi yang sangat tinggi. Hal ini terbukti pada tahun 2024, jumlah panen padi di Indonesia mencapai 53,14 juta ton GKG dengan hasil gilingan berupa 50-63,5% beras, 8-12% dedak, serta 20-30% sekam (Nadiyya A et al, 2022; Budiarti Z et al, 2023; BPS, 2024). Beras yang menjadi makanan pokok masyarakat Indonesia, tentu perlu dilakukan produksi dalam jumlah yang besar. Dalam proses produksi tersebut tentu dihasilkan sekam sebagai limbah dari penggilingan padi dalam jumlah yang besar pula. Limbah hasil penggilingan padi berupa sekam dalam jumlah besar tentu menyebabkan gangguan pada lingkungan jika tidak dilakukan pengolahan.

Sekam yang dibuang tanpa pengolahan pada saluran air akan menyebabkan pendangkalan pada saluran tersebut. Begitu pula jika dibuang secara sembarangan di sawah akan mengganggu pertumbuhan padi karena kandungan selulosa dan lignin sekam yang sulit terurai menghalangi matahari untuk melakukan penyinaran (Utami F, 2013). Jika dibiarkan ditempat terbuka sekam padi akan beterbangan dan ketika hujan, sekam padi yang tercampur dengan air serta

material organis lainnya akan menimbulkan bau yang tidak sedap. Untuk itu, masyarakat Indonesia cenderung melakukan pengolahan yang paling mudah dan sederhana yakni dengan melakukan pembakaran pada sekam padi.

Pembakaran sekam padi akan menghasilkan abu dari sekam padi yang jika tidak diolah dengan baik akan membahayakan kesehatan manusia, terutama pada kesehatan saluran pernapasan. Abu sekam padi sebagai hasil dari pembakaran sekam padi memiliki kandungan silika tinggi yang jika tidak diolah dan berterbangan akan menyebabkan penyakit Tuberculosis (TBC), penyakit paru-paru kronis, silikosis, dan/atau bahkan kanker paru-paru apabila terhirup oleh manusia dalam jangka waktu panjang (Hossain M et al, 2016). Hal tersebut terjadi dikarenakan menurut American Lung Assosiation tahun 2023 abu sekam padi yang berbentuk butiran kecil dan tipis serta terhirup oleh tubuh dalam jangka panjang akan menyebabkan jaringan mengalami peradangan. Jaringan yang mengalami peradangan akan memunculkan nodul sebagai suatu sinyal dari tubuh karena adanya kanker. Selain itu, terhirupnya silika ke dalam sistem pernapasan akan meningkatkan resiko terjadinya infeksi oleh bakteri dan menurunkan presentase fungsi paru-paru.

Berdasarkan fakta yang ada, pengolahan abu sekam padi sangat penting untuk dilakukan. Untuk itu, penelitian ini dilakukan dengan menggunakan sekam padi sebagai *added filler* campuran Laston AC-WC. Selain kedaruratan pengolahannya, penggunaan abu sekam padi pada penelitian ini tentu perlu diperhatikan terkait kandungan didalamnya yang akan dirangkum pada tabel berikut.

Tabel 2. 7 Kandungan Abu Sekam Padi

Kandungan Abu Sekam Padi	Presentase Terhadap Berat
SiO ₂	86,90 – 97,30
K ₂ O	0,58 – 2,5
Na ₂ O	0,00 – 1,75
CaO	0,20 – 1,50
MgO	0,12 – 1,96
Fe ₂ O ₃	0,00 – 0,54
P ₂ O ₅	0,20 – 2,84
SO ₃	0,10 – 1,13
Cl	0,00 – 0,42

Sumber : Hananta, 2016

Berdasarkan tabel diatas, dapat dilihat bahwa kandungan penyusun abu sekam padi terbanyak adalah Silika Dioxida (SiO_2) yang diproduksi akibat reaksi pembakaran silika yang melibatkan oksigen. Adapun skema reaksi yang terjadi pada pembakaran tersebut adalah sebagai berikut.



Gambar 2. 1 Reaksi Kimia Pembakaran Sekam Padi

Sumber : Fatah R et al, 2021

Tingginya kadar silika yang terdapat pada abu sekam padi ini sangat cocok jika digunakan sebagai *added filler* campuran Laston AC-WC. Hal ini dikarenakan silika yang memiliki sifat *pozzolanic* yang dapat berubah menjadi keras jika dicampur dengan kapur padam dan/atau air (Syahada A et al, 2024). Sifat inilah yang dapat meningkatkan daya tarik antar agregat dengan aspal sehingga campuran menjadi lebih keras (Sulistyo J et al, 2024). Bertambahnya nilai pengerasan pada campuran ini sejajar dengan bertambahnya nilai stabilitas pada campuran aspal. Akan tetapi, sebelum dicampurkan pada campuran Laston AC-WC, abu sekam padi terlebih dahulu ditumbuk dan dilakukan penyaringan menggunakan saringan No.200 agar sesuai dengan persyaratan pada Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2 tahun 2018.

2.4.2 Lateks

Lateks merupakan getah cair berwarna putih yang diperoleh dari hasil sadapan batang pohon karet (Amal A, 2011). Sejatinya, lateks akan menggumpal jika dibiarkan karena adanya reaksi yang timbul dari unsur-unsur asam sebagai akibat proses penguraian material selain karet oleh aktivitas mikroorganisme (Irfansyah P et al, 2017). Maka dari itu, setelah melalui proses penyadapan pada batang pohon karet, lateks tidak langsung digunakan melainkan dilakukan pengolahan terlebih di pabrik (Thanaya et al, 2016).

Angka hasil produksi lateks di Indonesia sangat tinggi. Bahkan, pada tahun 2023 hasil produksi lateks di Indonesia mencapai 2,04 juta dan menjadi negara produsen lateks terbesar kedua di Indonesia setelah Thailand. Akan tetapi, menurut data Badan Pusat Statistika, terhitung sejak tahun 2018 angka hasil produksi lateks mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena adanya pandemi covid-19 dan rendahnya harga jual karet pada petani (Prastanto H et al, 2019). Untuk menanggulangi permasalahan tersebut yang dapat mengakibatkan penurunan penghasilan pendapatan perorangan maka perlu dilakukan pengolahan lateks secara optimal, terutama pada bidang infrastruktur guna meningkatkan pemesanan lateks domestik secara berkelanjutan (Yanti A et al, 2024).

Bahan-bahan yang terkandung dalam lateks antara lain adalah karet, protein, resin, mineral, karbohidrat, dan air. Selain itu, lateks juga memiliki struktur kimia polimer *cis*-1,4-polyisoprene yang bersifat elastis, lengket, dan pegas sehingga mampu meningkatkan nilai stabilitas pada campuran Laston AC-WC (Widianto B et al, 2020; Mahmuda et al, 2022). Hal ini menjadikan lateks sangat cocok jika digunakan sebagai bahan pengganti pada sebagian polimer aspal. Sifat-sifat lateks tersebut muncul karena akibat dari fleksibilitas rantai molekul dengan massa amorf yang melingkar. Akibatnya, ketika diberikan beban lateks akan melendut dan kembali mengerut jika beban ditiadakan (Ansari A et al, 2021). Selain itu, aspal yang dicampur dengan lateks akan meningkatkan viskositas campuran tersebut sebagai akibat dari reaksi pengembangan molekul-molekul lateks pada saat proses *mixing* atau pencampuran dengan aspal panas. Peningkatan viskositas inilah yang dapat meningkatkan keterikatan kohesi antar material, yakni aspal, lateks dan agregat dan menyebabkan campuran menjadi keras serta tidak mudah mengalami keretakan maupun deformasi pada Laston AC-WC (Prastanto H et al, 2019). Disamping itu, penggunaan lateks sebagai bahan pengganti aspal juga digunakan sebagai alternatif pengurangan penggunaan energi tidak terbarukan dengan energi terbarukan (Farisqi M et al, 2025).

Maka dari itu, berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan, penggunaan lateks ke dalam campuran Laston AC-WC dapat dilakukan dengan memerhatikan

presentase kadar penggunaan lateks tersebut. Disamping itu, sebelum dilakukan pencampuran ke dalam campuran Laston AC-WC, terlebih dahulu lateks dilakukan pengujian penyaringan menggunakan visual dari bahan-bahan organik maupun anorganik selain lateks guna menghindari ketidak optimalan hasil dari penggunaan lateks sebagai substitusi aspal pada campuran Laston AC-WC.

2.5 Uji Marshall

Pengujian *marshall* adalah salah satu pengujian yang digunakan pada saat melakukan pengujian pada campuran Laston guna mengetahui nilai kepadatan dan pori-pori campuran, nilai stabilitas, kelelahan atau plastis (*flow*), dan kekakuan campuran yang terbentuk. Dalam hal ini, alat yang digunakan dalam pengujian adalah alat tekan dengan kelengkapan berupa *proving ring* (cincin penguji) berkapasitas 22,2 kN dan *flowmeter* untuk pengujian kelelahan plastis.

Adapun diadakannya pengujian ini adalah untuk mendapatkan hasil dari pengujian marshall yang memenuhi persyaratan Direktorat Jendral Bina Marga atau Departemen Pekerjaan Umum. Nilai-nilai parameter yang didapat dari pengujian *marshall* tersebut adalah sebagai berikut:

1. Berat jenis *bulk* (Gmb)

Menurut SNI 03-1969-1990, berat jenis bulk merupakan perbandingan antara berat benda uji campuran aspal yang telah dipadatkan dalam kondisi jenuh-kering permukaan (SSD) dan berat air dalam volume yang sama. Berat jenis bulk ini merupakan salah satu parameter penting yang akan digunakan dalam perhitungan parameter VIM, VMA, dan VFA (Sutopo M, 2004). Adapun cara untuk melakukan perhitungan berat jenis bulk sebagai berikut:

$$Gmb = \frac{\text{Berat benda uji kering}}{\text{Berat benda uji kering permukaan} - \text{berat benda uji dalam air}} \quad (2.1)$$

2. Berat jenis semu agregat campuran (Gsa)

Menurut SNI 06-2489-1991, berat jenis semu merupakan rata-rata nilai dari berat jenis masing-masing fraksi agregat dalam campuran aspal, dihitung

berdasarkan presentase berat agregat terhadap total campuran. Adapun cara untuk menghitung berat jenis semu agregat campuran sebagai berikut:

$$Gsa = \frac{100}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}} \quad (2.2)$$

Keterangan :

$P_1, P_2, \dots, P_n$: presentase berat tiap jenis agregat

$G_1, G_2, \dots, G_n$: spesifikasi berat jenis semu tiap agregat

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

Menurut SNI 1969:2017, berat jenis *bulk* merupakan perbandingan berat agregat kering oven dengan berat aquades yang volumenya sama dengan volume total agregat, termasuk pori-pori yang dapat menyerap air. Adapun cara untuk menghitung berat jenis *bulk* agregat campuran sebagai berikut:

$$Gsb = \frac{100}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}} \quad (2.3)$$

Keterangan :

$P_1, P_2, \dots, P_n$: presentase berat tiap jenis agregat

$G_1, G_2, \dots, G_n$: spesifikasi berat jenis tiap agregat

4. Berat jenis efektif agregat (Gse)

Berat jenis efektif agregat merupakan nilai berat jenis yang dihitung berdasarkan volume total partikel agregat ditambah dengan volume rongga yang apat terisi air selama proses perendaman, namun tidak memasukkan volume rongga yang menyerap aspal (Yuniarti R et al, 2023). Menurut SNI 1970:2016, parameter ini menggambarkan kapasitas volume agregat yang benar-benar berkontribusi dalam campuran beraspal dengan mengabaikan pori tertutup yang

tidak dapat ditembus aspal. Pada agregat kasar, berat jenis efektif seringkali dihitung dengan nilai rata-rata antara berat jenis bulk dan berat jenis semu sebagai penyederhanaan perhitungan dalam desain campuran (Sukirman, 2018). Adapun cara untuk melakukan perhitungan berat jenis efektif agregat sebagai berikut:

$$G_{se} = \frac{(G_{sb} + G_{sa})}{2} \quad (2.4)$$

Keterangan :

G_{sb} : berat jenis *bulk* agregat campuran

G_{sa} : berat jenis semu agregat campuran

5. Berat jenis maksimum campuran (G_{mm})

Menurut SNI 06-2489-1991, berat jenis maksimum campuran merupakan berat jenis teoritis campuran aspal yang dihitung berdasarkan proporsi campuran antara agregat dan aspal, dengan asumsi tidak terdapat rongga udara ada campuran. Adapun cara untuk melakukan perhitungan berat jenis maksimum campuran sebagai berikut:

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}} \quad (2.5)$$

Keterangan :

P_s : jumlah agregat, % total berat campuran

P_b : jumlah aspal, % total berat campuran

G_{se} : berat jenis efektif agregat

G_b : berat jenis aspal

6. Kepadatan (*Density*)

Kepadatan atau *density* adalah nilai kepadatan campuran beton aspal setelah mengalami proses pemadatan. Adapun spesifikasi yang harus dipenuhi dari nilai tingkat kepadatan campuran beton aspal yakni tidak boleh kurang dari 98%

(Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2, 2018). Nilai kepadatan bergantung pada bahan penyusun dan metode yang digunakan dalam pelaksanaan. Semakin tinggi nilai kepadatan, maka semakin tinggi juga nilai aspal mampu menahan beban di atasnya dikarenakan aspal yang padat menghindari terjadinya deformasi serta daya ikat antara aspal dan agregat juga tinggi (Sutopo M, 2004; Aziz S dkk, 2023; Triputra M dkk, 2023). Adapun cara untuk melakukan perhitungan density adalah sebagai berikut :

$$density = \frac{berat\ benda\ uji}{volume\ benda\ uji} \quad (2.6)$$

7. *Void in the Mix* (VIM)

Merupakan persentase nilai rongga udara pada campuran aspal beton yang berpengaruh pada tingkat keawetan campuran aspal dengan agregat. Tingkat keawetan yang dimaksudkan adalah jika nilai VIM terlalu tinggi maka rongga semakin besar, kemudian air dan udara akan mudah masuk dan menyebabkan ikatan antara aspal dan agregat berkurang. Sedangkan jika nilai VIM terlalu rendah maka menyebabkan campuran laston terpasang kurang fleksibel sehingga rentan mengalami keretakan dan *bleeding* (Sutopo M, 2004; Wanggi F, 2020). Berikut merupakan cara melakukan perhitungan untuk mendapat nilai VIM :

$$VIM = \left(100 \times \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \right) \quad (2.7)$$

Keterangan :

G_{mm} : berat jenis maksimum campuran

G_{mb} : berat jenis *bulk* campuran

8. *Void in the Mineral Aggregate (VMA)*

Merupakan persentase besaran nilai rongga dalam mineral agregat. Jika nilai VMA semakin tinggi, maka campuran Laston yang terbentuk semakin kedap terhadap udara dan air. Namun, pada suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan *bleeding*. Jika nilai VMA semakin rendah maka rongga yang terbentuk semakin besar, maka udara dan air akan lebih mudah masuk dan menyebabkan ikatan antara agregat dan aspal berkurang (Sutopo M, 2004; Triputra M dkk, 2023). Untuk mendapatkan nilai VMA, perlu dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$VMA = \left(100 - \frac{Gmb \times Ps}{Gsb} \right) \quad (2.8)$$

Keterangan :

Gmb : berat jenis *bulk* campuran

Gsb : berat jenis *bulk* agregat campuran

Ps : jumlah agregat, % total berat campuran

9. *Void Filled With Asphalt (VFA)*

Void Filled With Asphalt adalah persentase besaran nilai rongga terisi aspal dalam campuran yang berfungsi sebagai selimut agregat pada beton aspal padat. Jika nilai VFA pada campuran Laston terbentuk semakin tinggi, maka rongga yang terisi aspal juga semakin banyak, sehingga aspal kedap udara dan air. Namun, ketika terkena suhu yang tinggi dapat menyebabkan *bleeding*. Sebaliknya, jika nilai VFA pada campuran Laston terbentuk semakin rendah, maka rongga yang terisi aspal juga semakin sedikit, sehingga menyebabkan udara dan air mudah masuk dan mengakibatkan pengurangan daya ikat antara agregat dengan aspal (Sutopo M, 2004; Wanggi F, 2020).

$$VFA = \frac{100 (VMA - VIM)}{VMA} \quad (2.9)$$

Keterangan :

VMA : Volume rongga agregat dalam campuran

VIM : Volume rongga udara dalam campuran

10. Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan campuran aspal beton menerima beban lalu lintas tanpa disertai adanya perubahan bentuk. Nilai stabilitas yang tinggi mampu menerima beban yang tinggi pula. Namun, jika nilai stabilitas tinggi maka menyebabkan campuran Laston terbentuk menjadi lebih kaku dan kurang fleksibel, sehingga rentan terjadi retakan. Jika nilai stabilitas rendah maka beban yang dapat diterima juga rendah dan dapat mengakibatkan kerusakan pada lapisan permukaan (Sutopo M, 2004; Triputra M dkk, 2023).

$$MS = p \times q \quad (2.10)$$

Keterangan :

p : pembacaan arloji x kalibrasi *proving ring* (lbf)

q : konfersi lbs ke Kg

11. *Flow* (Kelelehan Plastis)

Kelelehan atau *flow* merupakan nilai kelelehan campuran aspal beton pada suhu tertentu akibat diberikan pembeban. Jika nilai *flow* tinggi, maka campuran Laston akan mudah mengalami perubahan bentuk dan bersifat plastis. Namun sebaliknya, jika nilai *flow* rendah maka campuran Laston menjadi kaku dan mudah terjadi keretakan (Sutopo M, 2004).

12. *Marshall Quotient* (MQ)

Marshall Quotient merupakan nilai kekakuan dari campuran aspal beton. Semakin tinggi nilai MQ, maka semakin kaku campuran laston dan rentan terjadi keretakan. Namun, semakin rendah nilai MQ, maka semakin mudah campuran Laston mengalami perubahan bentuk jika diberi beban (Sutopo M, 2004).

$$MQ = \frac{MS}{MF} \quad (2.11)$$

Keterangan :

MS : nilai stabilitas marshall (kg)

MF : nilai flow marshall (mm)

2.6 Literature Review

Abu sekam padi merupakan limbah pembakaran dari sekam padi hasil produksi penggilingan padi. Abu sekam padi memiliki kandungan silika tinggi, sehingga sangat cocok jika digunakan pada bidang infrastruktur, terutama sebagai *added filler* Laston AC – WC. Hal ini terbukti pada beberapa penelitian yang menyatakan bahwa penggunaan abu sekam padi dapat meningkatkan nilai stabilitas dibandingkan dengan penggunaan abu batu (Akbar S et al, 2012; Saepudin U 2021). Selain itu, penggunaan sekam padi juga dapat meningkatkan nilai VMA (Ridwan F et al, 2017; Nugraha D et al, 2024) dan meningkatkan nilai VFB, sehingga membuat campuran akan menjadi lebih padat (Wahyuningsih L, 2008). Namun, penggunaan abu sekam padi sebagai *added filler* sebanyak 5% hanya menaikkan nilai stabilitas sebesar 4,8% (Amiwarti et al, 2024), menurunkan nilai density dan MQ jika dibandingkan dengan penggunaan semen (Wahyuni et al, 2023) serta dapat meningkatkan nilai *flow* yang jika berlebih dapat mengakibatkan jalan menjadi mudah berubah bentuk ketika dikenai beban (Tasrifudin R, et al 2025). Berdasarkan keunggulan abu sekam padi, material tersebut dapat digunakan sebagai *added filler*. Akan tetapi untuk mendapatkan peningkatan nilai stabilitas secara signifikan dan melengkapi kelemahan yang dihasilkan, maka diperlukan bahan lain. Bahan tersebut jika dicampurkan pada laston AC – WC dapat meningkatkan nilai stabilitas, density dan MQ serta menurunkan nilai *flow*. Bahan yang cocok digunakan yakni lateks.

Lateks merupakan getah cair berwarna putih yang diperoleh dari hasil sadapan batang pohon karet bersifat elastis, kenyal, pegas, serta tahan deformasi. Berdasarkan sifat tersebut, lateks sangat sesuai jika digunakan sebagai pengganti sebagian polimer aspal, karena aspal yang bercampur dengan karet akan meningkatkan nilai viskositas sehingga sejajar dengan peningkatan daya tarik antar agregat dan aspal, membuat campuran menjadi keras. Berdasarkan pernyataan tersebut, lateks sangat cocok jika digunakan bersama abu sekam padi pada campuran Laston AC – WC, karena sifat elastisnya dapat menurunkan nilai *flow* (Mahmuda et al, 2022; Farisqi

et al, 2025) namun tetap tahan terhadap deformasi. Selain itu, penggunaan lateks ini dapat meningkatkan kekakuan atau nilai MQ pada campuran (Adnan S, et al 2020; Asri J et al, 2022). Penggunaan lateks ini, juga dinyatakan dapat meningkatkan nilai densitas pada penggunaan kadar getah karet sebanyak 7% (AT Yanti et al, 2024). Meskipun penggunaan lateks memengaruhi beberapa aspek pada karakteristik *marshall*, hal tersebut tidak menurunkan nilai stabilitas pada campuran. Penggunaan lateks ini dapat meningkatkan nilai stabilitas (Adnan S et al, 2020; Farisqi et al, 2025). Bahkan, pada penelitian lebih lanjut yang bertujuan mendapatkan campuran laston AC – WC dengan aspal karet alam padat untuk cuaca ekstrem didapat peningkatan nilai stabilitas (Rachmat H, 2024). Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan lateks sangat cocok jika digunakan di Indonesia. Maka dari itu, berdasarkan keunggulan serta kemampuan dalam melengkapi kekurangan pada masing-masing bahan, penelitian ini perlu dilakukan. Akan tetapi, belum ada penelitian yang mengkombinasikan penggunaan kedua bahan tersebut. Sehingga, dalam keberjalanannya perlu dilakukan studi literatur seperti pada tabel berikut.

No.	Sumber	Inovasi Material	Presentase Penggunaan	Tujuan	Metode	Hasil
1.	Akbar S, Et Al (2012)	Abu Sekam Padi	4%, 6%, 8%	Membandingkan nilai stabilitas dengan campuran <i>filler</i> abu batu	<i>Marshall Test</i>	Meningkatkan <i>density</i> , stabilitas hanya sampai 6%, <i>flow</i> , dan MQ. Menurunkan VMA, VFB, dan VIM.
2.	Ridwan F, Et Al (2017)	Abu Sekam Padi	6%; 6,5%; 7%	Membandingkan pada setiap kadar penggunaan	<i>Marshall Test</i>	Meningkatkan VMA dan stabilitas hingga 7%. Menurunkan VFWA dan VIM tidak ada yang memenuhi standar.
3.	Nugraha D, Et Al (2024)	Abu Sekam Padi	Subt. 100% <i>added filler</i>	Membandingkan nilai karakteristik marshall dengan campuran <i>filler</i>	<i>Marshall Test</i>	Meningkatkan stabilitas, VMA, VIM, dan MQ. Menurunkan <i>density</i> , <i>flow</i> , dan VFA.

				serbuk kayu			
4.	Tasrifudin R, Et Al (2025)	Abu Sekam Padi	4%, 6%, 8%	Membandingkan pengaruh kehalusan <i>filler</i> menggunakan aspal karet SIR 20	<i>Marshall Test</i>	Meningkatkan stabilitas dan <i>flow</i> . Menurunkan nilai <i>density</i> .	
5.	Saepudin U, (2021)	Abu Sekam Padi	6%	Membandingkan dengan campuran <i>filler</i> abu batu	<i>Marshall Test</i>	Meningkatkan VMA hanya sampai 5%, VFB, <i>flow</i> , VIM, dan stabilitas tertinggi pada 6,5%. Menurunkan nilai MQ.	
6.	Wahyuni, Et Al (2023)	Abu Sekam Padi	2%; 2,5%; 3%	Membandingkan dengan campuran <i>filler</i> semen	<i>Marshall Test</i>	Meningkatkan nilai <i>flow</i> . Menurunkan nilai <i>density</i> , stabilitas, dan MQ.	
7.	Wahyuningsih L (2008)	Abu Sekam Padi	8%	Membandingkan dengan campuran <i>filler fly ash</i> dan <i>filler</i> abu batu	<i>Marshall Test</i> dan <i>Immersion Test</i>	Meningkatkan nilai stabilitas, MQ, <i>density</i> , VFWA, dan VMA. Nilai <i>flow</i> menurun seiring bertambahnya kadar aspal dan VIM menurun.	
8.	Amiwarti, Et Al (2024)	Abu Sekam Padi	3%; 4,5%; 5%	Mengetahui pengaruh penggunaan <i>filler</i> abu sekam padi	<i>Marshall Test</i>	Meningkatkan stabilitas pada kadar 5%; <i>density</i> ; VFA; <i>flow</i> di 3%; MQ di 5%. Menurunkan VIM, VMA.	
9.	Mahmuda, Et Al (2022)	Lateks	4%; 4,5%; 5%	Analisis nilai marshall konvensional dengan penggunaan lateks	<i>Marshall Test</i>	Meningkatkan nilai VIM. Menurunkan stabilitas, <i>flow</i> , VMA, dan MQ.	
10.	Adnan S, Et Al (2020)	Lateks	2%; 2,5%; 3%; 3,5%; 5%; 5,5%; 6%	Membandingkan stabilitas konvensional dengan modifikasi getah	<i>Marshall Test</i>	Meningkatkan nilai stabilitas hanya sampai 5%, <i>flow</i> , VFB, dan MQ meningkat hanya sampai 3,5%.	

				karet		
11.	Rachmat H (2024)	Campuran Aspal Karet Alami	5%	Mendapatkan campuran laston AC – WC dengan aspal karet alam padat untuk cuaca ekstrem	<i>Marshall Test</i>	Menurunkan VIM dan VMA. Pada perendaman dengan suhu 60°C, nilai VIM tidak berubah, nilai VMA, VFA, dan stabilitas meningkat, sedangkan nilai <i>flow</i> turun. Pada perendaman dengan suhu 80°C, nilai VIM, VMA, VFA, dan <i>flow</i> menurun, sedangkan nilai stabilitas meningkat.
12.	AT Yanti, Et Al (2024)	Getah Karet	5%, 7%, 12%	Membandingkan nilai stabilitas setiap kadar getah karet	<i>Marshall Test</i>	Meningkatkan <i>density</i> dan stabilitas hanya sampai 7%, <i>flow</i> , VIM hanya sampai 12%. Menurunkan VMA dan VFB.
13.	Asri J, Et Al (2022)	Getah Karet	3%, 6%, 9%, 12%, 15%	Mengetahui KAO aspal modifikasi getah karet laston AC – WC	<i>Marshall Test</i>	Meningkatkan VMA kecuali pada 12%, VIM kecuali pada 6% dan 9%, VMA, VFA kecuali pada 3% dan 12%, stabilitas tertinggi pada 6%, <i>flow</i> tertinggi pada 12%, MQ tertinggi pada 9%.
14.	Farisqi, Et Al (2025)	Getah Karet	3,5%; 6%; 8,5%	Membandingkan nilai karakteristik marshall setiap kadar getah karet	<i>Marshall Test</i>	Meningkatkan stabilitas tertinggi pada 8,5%, VMA, VIM, dan MQ mulai dari 8,5%. Menurunkan <i>flow</i> dan VFA.