

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Jalan adalah sarana transportasi yang menghubungkan dua tempat atau lebih. Jalan memegang peran penting dalam mendukung pertumbuhan sosial ekonomi dan memperlancar pembangunan suatu daerah, yang pada gilirannya meningkatkan taraf hidup masyarakat. Namun, penggunaan jalan yang berkelanjutan dapat menyebabkan kerusakan pada jalan itu sendiri, yang dapat membahayakan pengguna jalan. Oleh karena itu, rehabilitasi jalan menjadi penting untuk memperpanjang umur rencana jalan dan memberikan kenyamanan serta kelancaran bagi pengguna jalan.

Menyadari pentingnya peran jalan dan keterbatasan pemerintah dalam membiayai penanganan jalan, penurunan ketersediaan agregat standar dan terbatasnya aspal, maka salah satu alternatifnya adalah pemanfaatan penggunaan bahan sisa dan bahan limbah, yaitu berupa bahan garukan dari perkerasan beraspal yang diperbaiki (Reclaimed Asphalt Pavement, RAP).

Rehabilitasi dengan proses daur ulang menggunakan RAP akan menghasilkan bahan campuran yang nilai strukturnya dapat setara dengan campuran yang baru jika menggunakan bahan peremaja yang sesuai dan diproses serta ditunjang dengan peralatan yang memadai. Sehingga penggunaan daur ulang aspal ini, diharapkan mampu mengatasi kerusakan jalan yang terjadi dan meningkatkan mutu jalan. Kementerian PUPR dalam artikel “Pemanfaatan Teknologi Campuran Beraspal Panas Daur Ulang untuk Pemeliharaan Jalan” tahun 2021 menyatakan bahwa Campuran beraspal panas daur ulang akan mengurangi penggunaan agregat dan aspal baru, terutama bagi daerah yang agregat baru yang memenuhi spesifikasi terbatas sehingga harus mendatangkan dari daerah (pulau) lain, serta akan mereduksi biaya campuran beraspal. Kinerja campuran beraspal panas daur ulang (ACWCRAAP dan LTBARAP) sampai bulan Agustus tahun 2020 (umur 2 tahun) masih dalam kondisi baik, tidak dijumpai kerusakan retak dan kedalaman alur masih dibawah 10 mm.

Namun, ada beberapa kendala dalam penggunaan material daur ulang ini, terutama dalam hal sifat fisik material yang telah menerima beban lalu lintas yang cukup berat selama masa layanannya. Karena material lama tidak sekuat aspal baru, diperlukan upaya untuk meningkatkan kekuatan fisik material tersebut. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Try Andilla (2018), Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) dengan variasi 35%, 55%, dan 60% memiliki kesesuaian dalam pembangunan perkerasan AC-WC, dan yang paling

cocok adalah Reclaimed Asphalt Pavement 35%. Oleh karena itu, penelitian ini akan menggunakan RAP untuk lapis perkerasan dengan beberapa variasi substitusi RAP yang diperoleh dari hasil pengelupasan perkerasan jalan di beberapa titik yang berlokasi di STA 3+400 jalan Simpang 3 Lempake - Simpang 3 Sambera dan Santan (seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 1.1).

Perkerasan yang ada di jalan Simpang 3 Lempake - Simpang 3 Sambera dan Santan menggunakan lapis perkerasan AC-WC. Oleh karena itu, dalam penelitian ini juga akan dirancang lapis perkerasan AC-WC dengan substitusi RAP terhadap agregat baru. Dengan menggunakan RAP sebagai bahan campuran perkerasan jalan yang baru, diharapkan dapat menghemat energi, melindungi kestabilan lingkungan, dan mengurangi biaya rekonstruksi.



Gambar 1. 1 Proses pengelupasan jalan yang rusak

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berapa kadar RAP maksimum pada campuran AC-WC?
2. Berapa kadar aspal optimum (KAO) campuran aspal AC-WC menggunakan RAP?
3. Bagaimana nilai Indek Kekuatan Sisa (IKS) pada campuran AC-WC dengan substitusi RAP?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Menentukan kadar RAP maksimum pada campuran AC-WC
2. Menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO) campuran aspal AC-WC menggunakan RAP;

3. Mengevaluasi nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS) pada campuran AC-WC dengan substitusi RAP.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan alternatif untuk menggunakan limbah sisa pengerukan aspal serta mengurangi pencemaran lingkungan.
2. Memberikan inovasi bahan yang digunakan dalam pembangunan di Indonesia, khususnya wilayah Kalimantan.

1.5. Ruang Lingkup Penelitian

Agar penelitian dapat berjalan efektif dan mencapai sasaran yang diinginkan maka penelitian menetapkan ruang lingkup pada:

1. Penelitian dilakukan pada Proyek Preservasi Jalan SP. 3 Lempake – SP.3 Sambera – Santan di Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur.
2. Pengujian laboratorium dilakukan di laboratorium proyek Preservasi Jalan SP.3 Lempake – SP.3 Sambera – Santan
3. Komposisi agregat ditentukan melalui pengujian saringan dan proses uji coba hingga mencapai spesifikasi gradasi AC-WC sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.

1.6. Batasan Penelitian

Beberapa jenis Batasan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Jenis campuran beraspal yang digunakan adalah campuran beraspal dengan gradasi menerus jenis AC-WC. Kriteria yang digunakan dalam penentuan kinerja campuran beraspal mengacu pada Spesifikasi Umum Jalan dan Jembatan Bina Marga 2018.
2. Komposisi material daur ulang (RAP) yang digunakan adalah 30%, 35% dan 40%. Sedangkan variasi kadar aspal yang digunakan adalah Pb-1%, Pb-0,05%, Pb%, Pb+0,5%, Pb+1%.

1.7. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan disusun agar pembahasan lebih terarah dan tetap menjurus pada pokok permasalahan dan kerangka isi. Dalam tesis ini sistematika penulisan disusun dalam lima bab yang secara berurutan menerangkan hal-hal sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang masalah, rumusan masalah, maksud dan tujuan penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan teori – teori dan tinjauan umum yang digunakan untuk membahas dan menganalisa tentang permasalahan dari penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang tahap demi tahap prosedur pelaksanaan penelitian serta cara pengolahan data hasil penelitian. Termasuk juga kerangka alir penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil analisis perhitungan data-data yang diperoleh dari hasil pengujian serta pembahasan dari hasil pengujian yang diperoleh.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

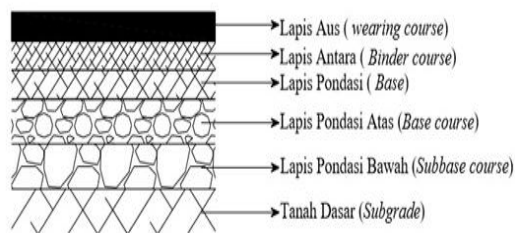
Bab ini akan menerangkan tentang kesimpulan beserta saran yang diperlukan untuk penelitian lebih lanjut dari tugas akhir ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Perkerasan Lentur (*flexible pavement*)

Perkerasan lentur adalah perkerasan ini umumnya menggunakan aspal sebagai bahan pengikatnya. Lapis permukaannya tersusun dengan campuran aspal, serta bahan berbutir sebagai lapisan bawahnya, sebelum digunakan aspal dipanaskan pada suhu tertentu samapi menjadi aspal cair. Pada perkerasan lentur, beban akan disebarkan ke bagian tanah dasar. kerusakan biasanya yang terjadi rutting atau alur bekas ban kendaraan saat perkerasan menerima pengulangan beban pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Lapisan permukaan yang tersusun dengan aspal

2.2. Lapis Aspal Beton

Lapis aspal beton adalah suatu lapisan konstruksi jalan raya, terdiri dari campuran aspal keras dan agregat yang bergradasi menerus (*well graded*), dicampur, dihampar dan dipadatkan secara panas dalam suhu tertentu.

Aspal beton terdiri dari tiga macam campuran, yaitu Laston Lapis Aus AC-WC (*Asphalt Concrete – Wearing Course*), Laston Lapis Pengikat AC-BC (*Asphalt Concrete – Binder Course*), dan Laston Lapis Pondasi AC-Base (*Asphalt Concrete – Base*).

2.2.1 Asphalt Concrete -Wearing Couse (AC-WC)

Asphalt Concrete - Wearing Couse (AC-WC) merupakan lapis perkerasan yang berada paling atas dan berfungsi sebagai lapis aus. Walaupun lapisan ini bersifat non struktur, AC-WC dapat menambah daya tahan perkerasan terhadap penurunan mutu sehingga secara keseluruhan menambah masa pelayanan dari konstruksi perkerasan. AC-WC mempunyai tekstur yang paling halus dibandingkan dengan jenis laston lainnya. Bahwa tebal nominal minimum lapis AC-WC adalah 4 cm dengan toleransi -3 mm.

Ketentuan sifat-sifat yang dimiliki campuran Laston AC-WC, seperti pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Ketentuan sifat-sifat campuran laston AC-WC

Sifat-sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Fondasi
Jumlah tumbukan per bidang		75		112
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Min.	0,6		
	Maks.	1,2		
Rongga dalam campuran (%) ⁽⁴⁾	Min.	3,0		
	Maks.	5,0		
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min.	15	14	13
Rongga terisi aspal (%)	Min.	65	65	65
Stabilitas marshall (kg)	Min.	800		1800
Pelelehan(mm)	Min.	2		3
	Maks.	4		6
Stabilitas marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam 60 °C ⁽⁵⁾	Min.	90		
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal) ⁽⁶⁾	Min.	2		

Sumber:Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 revisi – 2

2.2.2 Bahan Penyusun Asphalt Concrete - Wearing Course (AC-WC)

Bahan penyusunan perkerasan lentur terdiri dari aspal, agregat kasar, agregat halus, pasir, filter. Bahan -bahan yang digunakan tersebut, sebelumnya harus diuji sesuai standar dan memenuhi spesifikasi yang ditetapkan oleh Bina Marga, hal tersebut agar diperoleh perkerasan yang memiliki kualitas yang baik dan sesuai dengan yang direncanakan, berikut adalah bahan penyusun lapis aspal beton.

A. Aspal

Aspal adalah material berwarna hitam atau coklat tua yang akan padat pada suhu ruang dan dipanaskan akan cair lapis perkerasan lentur (*flexible pavement*) jalan raya, yang berfungsi sebagai campuran bahan pengikat agregat, karena mempunyai daya lekat yang kuat, mempunyai sifat adhesif, kedap air, dan mudah dikerjakan. Fungsi aspal adalah untuk bahan pengikat aspal dan agregat atau antara aspal sendiri, juga sebagai pengisi rongga pada agregat. Aspal padat dengan penentrasi 60/70 akan mengeras pada suhu ruangan dan mencair jika dipanaskan untuk

jalanan yang volume lalu lintasnya sedang atau tinggi, dan daerah yang memiliki iklim panas, berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 pada spesifikasi aspal pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Spesifikasi aspal

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Tipe I Aspal Pen 60-70
1	Penetrasi pada 25°C (0,1mm)	SNI 2456:2011	60-70
2	Temperatur yang menghasilkan geser dinamis ($G^*/\sin \delta$) pada osilasi 10 rad/detik $\geq 1,0$ kpa(°C)	SNI06-6442-2000	-
3	Viskositas kinematis 135°C (cSt) ⁽³⁾	ASTM D2170-10	≥ 300
4	Titik lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 48
5	Daktilitas pada 25°C, (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100
6	Titik nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥ 232
7	Kelarutan dalam trichloroethylene (%)	AASHTO T44-14	≥ 99
8	Berat jenis	SNI 2441:2011	$\geq 1,0$
9	Stabilitas penyimpanan: perbedaan titik lembek (oC)	ASTM D 5976-00 PART 6.1 DAN SNI 2434:2011	-
10	Kadar parafin lilin (%)	SNI 03-3639-2002	≤ 2
	pengujian residu hasil TFOT (SNI -06-2440-1991) atau RTFOT(SNI-0306835-2002):		
11	Berat yang hilang (%)	SNI 06-2441-1991	$\leq 0,8$
12	Temperatur yang menghasilkan geser dinamis ($G^*/\sin \delta$) pada osilasi 10rad/detik ≤ 5000 kpa, (°C)	SNI 06-6442-2000	-
13	Penetrasi pada 25°C(%semula)	SNI 2456:2011	≥ 54
14	Daktilitas pada 25°C(cm)	SNI2432:2011	≥ 50
	Residu aspal segar setelah PAV (SNI 03-6837-2002) pada temperatur 100oC dan tekanan 2,1 Mpa		
15	Temperatur yang menghasilkan geser dinamis ($G^*/\sin \delta$) pada osilasi 10 rad/detik ≤ 5000 kpa, (°C)	SNI 06-6442-2000	-

Sumber:Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 revisi – 2

B. Agregat

Agregat adalah campuran yang terdiri dari batu pecah, kerikil, pasir atau material lain dari bahan mineral alami atau buatan dan merupakan komponen paling besar pada campuran dan bahan utama penyusun perkerasan untuk menentukan mutu pada perkerasan (Iqbal, 2018). Berikut persyaratan agregat kasar, halus dan filter yang harus dipenuhi:

1. Agregat Kasar

Agregat kasar adalah agregat dengan rancangan campuran tertahan ayakan No.4 (4,75 mm) dengan syarat agregat kasar harus bersih, keras, awet, dan bebas dari bahan lainnya yang bisa menurunkan kualitas agregat. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Karakteristik agregat kasar

No	Jenis Pengujian	Unit	Persyaratan	Standar Yang Digunakan
1	Berat Jenis Agregat Kasar	-	Min.2,5	SNI 1969-2016
2	Penyerapan Agregat Kasar	%	Maks.3%	SNI 1969-2016
3	Material Lolos Ayakan No.200	%	Maks.1%	SNI ASTM C117:2012
4	Keausan Agregat Ayakan	%	Maks.40%	SNI 2417-2008

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 revisi – 2

2. Agregat Halus

Agregat Halus adalah agregat yang pengayakan batu pecah dan lolos ayakan No.4 (4,75 mm), dan tertahan pada saringan No. 200 (0,075 mm). Fungsi utama untuk mendukung stabilitas dan mengurangi deformasi permanen dari campuran melalui ikatan dan gesekan antara partikel. berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 pada Tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Spesifikasi agregat halus

No	Pengujian	Unit	Persyaratan	Standar Yang Digunakan
1	Berat Jenis Agregat Halus	-	Min.2,5	SNI 1970-2016
2	Penyerapan Agregat Halus	%	Maks.3	SNI 03-1970-2016
3	Material Lolos Ayakan No.200	%	Maks.10	SNI ASTM C117:2012

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 revisi – 2

C. Gradasi Agregat

Gradasi adalah susunan butir agregat sesuai ukurannya, ukuran butir agregat dapat diperoleh melalui pemeriksaan analisis saringan. Gradasi agregat dalam persentase lolos, atau

tertahan, yang dihitung berdasarkan berat agregat. Gradasi ditentukan oleh Analisa saringan, agregat harus melalui satu set saringan. Gradasi agregat dalam persentase berat masing-masing lolos pada saringan tertentu, berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 pada Tabel 2.5.

Tabel 2. 5 Gradasi agregat gabungan campuran AC-WC

Ukuran Ayakan		% Berat yang lolos terhadap agregat		
		Laston (AC)		
ASTM	(mm)	WC	BC	Base
1 1/2"	37,5			100
1 "	25		100	90-100
3/4"	19	100	90-100	76-90
1/2"	12,5	90-100	75-90	60-78
3/8"	9,5	77-90	66-82	52-71
No.4	4,75	53-69	46-64	35-54
NO.8	2,36	33-53	30-49	23-41
No.16	1,18	21-40	18-38	13-30
No.30	0,600	14-30	12-28	10-22
No.50	0,300	9-22	7-20	6-15
No.100	0,150	6-15	5-13	4-10
No.200	0,075	4-9	4-8	3-7

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 revisi – 2

Pengujian keausan Agregat (abrasi dengan Mesin Los Angeles. Pemeriksaan terhadap agregat adalah kekuatan untuk mencegah agregat rusak pada saat proses pemadatan campuran aspal dan juga pada saat menerima beban kendaraan. Tes keausan dilakukan dengan abrasi Los Angeles pada campuran AC-WC pada Tabel 2.6.

Tabel 2. 6 Gradasi dan berat benda uji

Ukuran saringan				Gradasi dan berat benda uji (gram)						
Lolos saringan		Tertahan saringan		A	B	C	D	E	F	G
mm	inci	mm	inci							
75	3,0	63	2 1/2	-	-	-	-	2500±50	-	-
63	2 1/2	50	2,0	-	-	-	-	2500±50	-	-
50	2	37,5	1 1/2	-	-	-	-	5000±50	5000±50	-
37,5	1 1/2	25	1	1250±25	-	-	---	-	5000±25	5000±25
25	1	19	3/4	1250±25	-	-	-	-	-	5000±25
19	3/4	12,5	1/2	1250±10	2500±10	-	-	-	-	-
12,5	1/2	9,5	3/8	1250±10	2500±10	-	-	-	-	-
9,5	3/8	6,3	1/4	-	-	2500±10	-	-	-	-
6,3	1/4	4,75	No.4	-	-	2500±10	2500±10	-	-	-
4,75	no. 4	2,36	No.8	-	-	-	2500±10	-	-	-
Total				5000±10	5000±10	5000±10	5000±10	10000±10	10000±10	10000±10
Jumlah bola				12	11	8	6	12	12	12
Berat bola (gram)				5000±25	4584±25	3330±20	2500±15	5000±25	5000±25	5000±25

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 revisi – 2

Adapun rumus keausan agregat adalah sebagai berikut:

$$\text{Keausan} = \frac{a-b}{a} \times 100\%$$

Keterangan:

a = Berat benda uji semula (gram)

b = Berat benda uji tertahan saringan No. 12 (gram)

1. Berat Jenis dan penyerapan Agregat

Pengujian ini untuk menentukan berat jenis dan penyerapan agregat kasar, agregat halus, dan filler dalam kondisi jenuh dan kering permukaan (SSD).

a. Agregat Kasar

Pengujian dilakukan untuk menentukan berat jenis dan penyerapan agregat kasar dalam kondisi jenuh dan kering permukaan (SSD). Rumus yang telah ditentukan:

$$\text{Berat Jenis Curah} = \frac{B_k}{(B_J - B_A)} \dots\dots\dots(2.1)$$

$$\text{Berat Jenis Jenuh Permukaan} = \frac{B_J}{(B_J - B_A)} \dots\dots\dots(2.2)$$

$$\text{Berat Jenis Semu} = \frac{B_k}{(B_k - B_A)} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{B_J - B_k}{B_k} \times 100\% \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan:

BK = Berat benda uji dalam keadaan kering oven (gram)

BA = Berat benda uji dalam air (gram)

BJ = Berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh (gram)

b. Agregat Halus

Pengujian dilakukan untuk menentukan berat jenis dan penyerapan agregat halus dalam kondisi jenuh dan kering permukaan (SSD). Rumus yang telah ditentukan:

$$\text{Berat Jenis Curah} = \frac{B_k}{(B + B_J - B_T)} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$\text{Berat Jenis Jenuh Permukaan} = \frac{B_J}{(B + B_J - B_T)} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$\text{Berat Jenis Semu} = \frac{B_k}{(B + B_k - B_T)} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{B_J - B_K}{B_k} \times 100\% \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan:

BK= Berat benda uji dalam keadaan kering oven (gram)

B = Berat picnometer berisi air (gram)

BT= Berat picnometer berisi benda uji dan air (gram)

BJ = Berat benda uji kering permukaan jenuh /SSD (gram)

c. Analisa Saringan

Pengujian ini untuk mengetahui variasi ukuran butiran agregat dengan cara mengayaknya pada saringan -saringan yang telah ditentukan.

Rumus:

$$\text{Persentase Saringan} = \frac{A}{B} \times 100\% \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana:

A = Berat agregat tertahan (gram)

B = Jumlah berat agregat tertahan (gram)

D. Bahan Pengisi Filler

Bahan pengisi (filler) adalah material yang lolos saringan no.200 lebih dari 75% terhadap beratnya. Salah satu jenis yang biasa digunakan adalah semen. Fungsi bahan pengisi filter untuk mengurangi kepekaan terhadap temperatur serta mengurangi jumlah rongga udara dalam campuran. Spesifikasi persyaratan untuk bahan pengisi (filter) dapat dilihat pada Tabel 2.7

Tabel 2. 7 Spesifikasi bahan pengisi (filler)

No	Jenis Pengujian	Unit	Persyaratan	Standar Yang Digunakan
1	Berat jenis filter	-	Min.1	SNI 15-2531-1991
2	Lolos ayakan No.200	%	≥ 75%	SNI ASTM C136:2012

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 revisi – 2

E. Ekstraksi *Reclaimed Asphalt pavement* RAP

Bahan daur ulang beraspal (RAP) harus diperoleh dari hasil pengupasan atau pembongkaran pada perkerasan lama selanjutnya harus diproses cuci lalu diekstraksi untuk memisahkan antara aspal dan agregat hal ini dilakukan dengan merendam RAP kedalam larutan bensin selama 24 jam selanjutnya agregat dicuci dengan bensin hingga bersih siap untuk digunakan.

2.2.3 Kadar Aspal Rencana

Kadar aspal untuk campuran adalah kadar aspal efektif yang menyelimuti butir – butir efektif maka dilakukan pengujian laboratorium pada pengujian laboratorium kadar aspal yang digunakan adalah kadar aspal tengah atau ideal dapat ditentukan menggunakan rumus, biasanya kadar aspal tengah dikenal dengan kadar aspal rencana (Pb).

2.2.4 Parameter Marshall

Prinsip dasar metode Marshall adalah untuk mengetahui karakteristik campuran, menentukan ketahanan atau stabilitas terhadap kelelahan (*flow*) plastis dari campuran aspal.

Pengujian karakteristik Marshall menggunakan RSNI M-01-2003. Karakteristik campuran aspal beton dapat dilihat dari parameter-parameter yang dapat dari pengujian Marshall:

A. Stabilitas Marshall

Nilai stabilitas merupakan kemampuan lapis perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa mengalami perubahan bentuk tetap (deformasi permanen) seperti gelombang, alur (rutting), maupun mengalami bleeding. penggunaan aspal dalam campuran akan menentukan nilai stabilitas campuran. Seiring dengan penambahan aspal, nilai stabilitas akan meningkat hingga batas maksimum. Nilai stabilitas terlalu tinggi akan menghasilkan perkerasan yang terlalu kaku sehingga tingkat keawetan berkurang. Pada Tabel 2.8

Rumus:

$$S = s \times k \times kb \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan:

S = Stabilitas Benda Uji (kg)

s = Pembacaan arloji stabilitas

k = kalibrasi alat

kb= koreksi benda uji (angka koreksi benda uji)

Tabel 2. 8 Daftar angka koreksi benda uji

Isi Benda Uji (cm3)	Tebal Benda Uji (mm)	Angka Koreksi
200-213	25,4	5,56
214-225	27	5,00
226-237	28,6	4,55
238-250	30,2	4,17
251-264	31,8	3,85
265-276	33,3	3,57
277-289	34,9	3,33
290-301	36,5	3,03
302-316	38,1	2,78
317-328	39,7	2,50
329-340	41,3	2,27
241-353	42,9	2,08
354-367	44,4	1,92
368-379	46	1,79
380-392	47,6	1,67
393-405	49,2	1,56
406-420	50,8	1,47
421-431	52,4	1,39

Isi Benda Uji (cm3)	Tebal Benda Uji (mm)	Angka Koreksi
432-443	54	1,32
444-456	55,6	1,25
457-470	57,2	1,19
471-482	58,7	1,14
483-495	60,3	1,09
496-508	61,9	1,04
509-522	63,5	1,00
523-535	64	0,96
536-546	65,1	0,93
547-559	66,7	0,89
560-573	68,3	0,86
574-585	71,4	0,83
586-598	73,0	0,81
599-610	74,6	0,78
611-625	76,2	0,76

Sumber: (SNI 06-2489-1991)

B. Kelelehan (*flow*)

Kelelehan (*flow*) adalah penurunan deformasi vertikal benda uji yang terjadi pada awal pembebanan sehingga stabilitas menurun, menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada lapis perkerasan akibat menahan beban yang diterimanya. Nilai flow yang rendah akan mengakibatkan campuran menjadi kaku sehingga lapis perkerasannya menjadi mudah retak, sedangkan campuran dengan nilai flow tinggi akan menghasilkan lapis perkerasan yang plastis sehingga perkerasan mudah mengalami perubahan bentuk. Syarat nilai flow minimal 2-4 mm.

C. Rongga dalam campuran / *void in the mix* (VIM)

Rongga dalam campuran adalah 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 bersifat porous. mengakibatkan campuran menjadi kurang rapat sehingga air dan udara mudah memasuki rongga-rongga dalam campuran yang menyebabkan aspal mudah teroksidasi menyebabkan lekatan antar butiran agregat berkurang sehingga pelepasan butiran (*revelling*) dan pengelupasan permukaan (*stripping*) pada lapis perkerasan.

Rumus:

$$VIM = 100 - \frac{Gmb - Gmb}{Gmm} \dots\dots\dots(2.12)$$

Keterangan:

VIM = Rongga udara dalam campuran setelah pemadatan, persentase dari volume total (%)

Gmm = Berat jenis maksimum campuran (gr/cm³)

Gmb = Berat jenis bulk campuran padat (gr/cm³)

D. Rongga pada campuran agregat / *void mineral aggregate* (VMA)

Rongga pada campuran agregat adalah rongga udara antar butir agregat pada suatu perkerasan, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat). Kuantitas rongga udara pengaruh terhadap kinerja suatu campuran karena VMA terlalu kecil maka campuran bisa mengalami masalah durabilitas dan VMA terlalu besar maka campuran bisa memperlihatkan masalah stabilitas dan tidak ekonomis untuk diproduksi. Nilai VMA yang disyaratkan adalah minimum 15%.

Rumus:

$$VMA = 100 - \frac{Gmb}{Gsb} \times \frac{100}{(100+pb)} \times 100 \dots\dots\dots(2.13)$$

Keterangan:

VMA = Rongga udara pada mineral agregat, persentase dari volume total (%)

Gmb = Berat jenis bulk campuran padat (gr/cm³)

Gsb = Berat jenis bulk agregat (gr/cm³)

Pb = Kadar aspal persen terhadap berat total campuran (%)

E. Rongga terisi aspal/ *void filled with asphalt* (VFA)

Rongga yang terisi aspal adalah persen rongga terdapat diantara partikel agregat yang terisi oleh aspal, tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat

$$VFA = 100 \times \frac{VMA - VIM}{VMA} \dots\dots\dots(2.14)$$

Keterangan:

VFA = Rongga udara terisi Aspal (%)

VMA = Rongga udara pada mineral agregat (%)

VIM = Rongga udara dalam campuran (%)

F. Hasil bagi marshall (Marshall Quantient)

Marshall quantient adalah hasil antara stabilitas dengan flow. Nilai Marshall quantient akan memberikan nilai fleksibilitas pada campuran. Semakin besar nilai marshall quantient maka campuran semakin kaku, sebaliknya apabila semakin kecil nilainya maka campuran semakin lentur.

$$MQ = \frac{SM}{F} \dots\dots\dots(2.15)$$

Keterangan:

MQ =Marshall Quantient (kg/mm)

SM =Stabilitas Marshall (kg)

F =Flow (mm)

G. Indeks Kekuatan Sisa (IKS)

Indeks kekuatan sisa (IKS) adalah nilai yang digunakan sebagai parameter untuk mengetahui durabilitas campuran aspal. Untuk mendapatkan nilai IKS adalah Marshall Immersion Test yaitu uji perendaman, dengan didapatkan nilai stabilitas marshall yang dihasilkan dengan perendaman selama 24 jam. Kemudian diperhitungkan kehilangan stabilitas yang didapat oleh stabilitas yang dihasilkan dengan perendaman 30 menit dalam persentase. Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 adalah minimal 90%.

$$IKS = \frac{S_2}{S_1} \times 100\% \dots\dots\dots (2.16)$$

Keterangan:

S1 =Rata- Rata nilai stabilitas setelah perendaman selama T1

S2 =Rata- Rata nilai stabilitas setelah perendaman selama T2

2.3. Material Daur Ulang (*Reclaimed Asphalt Pavement/RAP*)

Pada umumnya ruas-ruas jalan di Indonesia menggunakan teknologi perkerasan lentur atau perkerasan beraspal, lebih dari 90% dari seluruh panjang jalan yang ada. Untuk pembangunan dan pemeliharaan perkerasan beraspal pada setiap tahunnya dikarenakan kekurangan aspal dengan impor aspal. Salah satu alternatif untuk mengatasi kendala kekurangan aspal adalah pemanfaatan RAP khususnya untuk pekerjaan pemeliharaan perkerasan beraspal dengan menggunakan metode cut and fill (Nono, 2015), teknologi ini bersifat efisien dan efektif serta dapat mengurangi penggunaan agregat (45% - 100%) dan aspal baru (60%) sehingga nilai ekonomis bahan kupasan meningkat, hemat energi, dan geometrik jalan dapat dipertahankan serta melestarikan sumber daya alam hal ini juga dinyatakan dalam (Kandhal dan Mallick, 1997) bahwa penggunaan RAP dapat memberikan penghematan biaya antara 14-34% dengan persentase RAP 20-50% dalam total campuran aspal.

Campuran aspal beton pada perkerasan yang mencapai akhir dari umur rencana, kemudian dibongkar terdapat material yang lama dapat digunakan kembali untuk pembangunan jalan baru (Silva, dkk. 2012). Material RAP umumnya dicampur dengan persentase agregat baru

dan aspal untuk menghasilkan campuran baru. RAP dapat digunakan di lapisan perkerasan yang lebih rendah yaitu lapis pengikat untuk memberikan peningkatan terhadap beban lalu lintas dan juga lapis permukaan (Qadi, dkk. 2012).

Secara umum perkerasan daur ulang memanfaatkan kembali material (agregat dan aspal) perkerasan lama untuk dijadikan sebagai perkerasan baru yang ditambahkan agregat baru dan atau bahan peremaja. Untuk mencapai hasil yang memadai, aspal dan agregat lama perlu diperbaharui baik sifat-sifatnya maupun gradasinya (Pradani, dkk 2011). Campuran yang menggunakan daur ulang dapat digunakan sebagai salah satu alternatif yang baik untuk konstruksi jalan, terutama jika menggunakan bahan peremaja sehingga dapat mengurangi suhu produksi dan meningkatkan performance kinerja campuran tersebut (Silva, dkk. 2012). Penggunaan RAP dalam campuran beraspal panas berdasarkan the Asphalt Institute (1993) adalah sekitar 10% - 35% untuk unit produksi jenis takaran, sedangkan untuk unit produksi jenis drum kuantitas yang praktis adalah sekitar 10% - 50%. Valdes, dkk (2011) menyampaikan bahwa persyaratan campuran daur ulang sekitar 10% - 50%, dengan campuran 40% RAP masih dalam rentang yang diterima sedangkan campuran dengan 60% diluar batas yang ditentukan.

Dalam metoda perkerasan daur ulang ini diperlukan evaluasi sifat fisik material hasil pengupasan perkerasan lama karena adanya proses aging dan oksidasi yang merubah sifat fisik dari material. Untuk aspal, proses ini menyebabkan hilangnya fraksi ringan dalam komposisi aspal, meningkatnya kadar asphaltenes, hardening (peningkatan viskositas) dan hilangnya daktilitas aspal. Selain itu penuaan yang terjadi akan menyebabkan perilaku getas dan kaku yang berlebihan, dan meningkatnya kecenderungan campuran untuk disintegrasi dan retak. Sedangkan gradasi agregat juga dapat berubah akibat dari degradasi dari lalu lintas dan pengaruh lingkungan (Pradani, 2011; Zaumanis, 2013) Beberapa hal yang perlu dilakukan evaluasi terhadap material RAP adalah sebagai berikut (Fawas Kaseer dkk, 2019; Jian Li dkk, 2018, Zhang J. dkk, 2018, Widayanti A, dkk, 2019; Bethary dkk, 2019):

- 1) Gradasi agregat apabila disesuaikan dengan spesifikasi yang akan digunakan, dapat ditentukan kebutuhan penambahan agregat baru atau material lain pengganti agregat.
- 2) Kadar aspal dapat ditentukan atas dasar berat relatif dari aspal dan agregat yang telah diekstraksi dan dalam penggunaannya, kadar aspal dari material pengupasan dalam pengujian Marshall dapat berpengaruh terhadap penambahan jumlah dan tingkat aspal yang dibutuhkan. Untuk tingkat aspal yang dipakai dalam campuran konvensional.
- 3) Sifat rheologi aspal (penetrasi atau viskositas) mengalami penurunan, namun hal ini dapat dikembalikan dengan penambahan bahan peremaja (rejuvenating agent).

2.4. Penelitian Terdahulu

Penelitian ini berdasarkan penelitian terdahulu, baik dari teori penelitian, dan metode penelitian yang digunakan dibawah ini sebagai berikut. pada Tabel 2.9.

Tabel 2. 9 Penelitian sebelumnya

No.	Nama Penulis	Judul	Sumber	Pokok Persoalan	Outcome	Persamaan Rencana Riset	Perbedaan Rencana Riset
1.	Rindu Twidi Bethary Bambang Sugeng Subagio Harmein Rahman Nyoman Suaryana	Effect of Slag and Recycled Materials on The Performance of Hot Mix Asphalt	Jurnal Teknik Sipil Vol. 26 No. 1, April 2019, Institut Teknologi Bandung, ISSN 0853-2982 <u>Tahun 2019</u>	Menganalisa kinerja campuran AC-BC dengan menggunakan slag sebagai pengganti agregat	Kinerja optimum campuran terlihat pada kandungan RAP 30%.	Menggunakan material RAP	Tidak menguji slag sebagai pengganti agregat
2.	Sri Gusty M.W. Tjaronge Nur Ali Rudy Djamaluddin	Pengaruh Penambahan Buton Granular Asphalt pada Campuran Aspal Berongga Campur Panas Hampar Dingin terhadap Stabilitas Marshall.	Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil dan Perencanaan (KN-TSP) 2017	Mengetahui stabilitas campuran yang mengandung Asbuton Butir Lawele (BGA).	Penggunaan Asbuton butir cenderung meningkatkan nilai stabilitas campuran (BGA optimum 5,5%)	Pengujian nilai stabilitas marshall dengan bahan tambah	Jenis campuran, menggunakan material RAP

No.	Nama Penulis	Judul	Sumber	Pokok Persoalan	Outcome	Persamaan Rencana Riset	Perbedaan Rencana Riset
3.	Muhammad Fauzan Sofyan M. Saleh M. Isya	Modifikasi Campuran Aspal AC-WC Menggunakan Buton Granular Asphalt (BGA) sebagai Bahan Substitusi.	Journal of The Civil Engineering Student, Vol.1. No.3, Desember 2019 (155-161) <u>Tahun 2019</u>	Mengetahui karakteristik campuran yang menggunakan asbuton butir (BGA).	Campuran dengan BGA cenderung memiliki nilai stabilitas Marshall yang lebih tinggi dibandingkan campuran tanpa BGA (BGA optimum 8%)	Pengujian nilai stabilitas marshall dengan bahan tambah	Jenis campuran, menggunakan material RAP
4.	La One M.W. Tjaronge Rita Irmawaty Muralia Hustim	Effect of Buton Granular Asphalt Gradation and Cement As Filler on Performance of Cold Mix Asphalt Using Limestone Aggregate	Journal of Engineering Science and Technology Vol. 15, No. 1 (2020) 419-433 <u>Tahun 2020</u>	Mengetahui kinerja campuran aspal dingin yang mengandung asbuton butir (BGA) dan filler semen.	Terjadi peningkatan nilai stabilitas Marshall pada campuran dengan BGA dan semen (optimum BGA 14%, semen 2,5%)	Pengujian nilai stabilitas marshall dengan bahan tambah	Jenis gradasi campuran, menggunakan material RAP
	Whinda Pratiwi Tiara Gea	Pengaruh Asbuton terhadap Karakteristik Marshall Perkerasan Daur Ulang dengan	Student Journal ub.ac.id	Mengetahui kinerja campuran daur ulang yang	Menggunakan agregat RAP seluruhnya, asbuton butir	Menggunakan RAP	Gradasi campuran, proporsi RAP.

No.	Nama Penulis	Judul	Sumber	Pokok Persoalan	Outcome	Persamaan Rencana Riset	Perbedaan Rencana Riset
	Noviastuti Ludfi Djakfar Hendi Bowoputro	peremaja Oli Bekas dan Solar	<u>Tahun 2017</u>	mengandung asbuton butir.	sebagai filler. Menghasilkan nilai stabilitas yang meningkat seiring penambahan asbuton.		
6.	Anindya Andana Ningrum Yogie Risdianto	Perbandingan Penggunaan Buton Granular Asphalt (BGA) dan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) sebagai Bahan Substitusi Agregat pada Campuran Aspal Wearing Course (AC-WC) dengan Fly Ash sebagai Filler.	Jurnal Rekayasa Teknik Sipil Vol.2, NO. 2/REKAT/18 (2018) Tahun 2018	Mengetahui karakteristik Marshall campuran AC-WC yang menggunakan RAP dan BGA.	Campuran dengan BGA dan RAP dapat meningkatkan nilai stabilitas Marshall dan MQ	Menggunakan material RAP.	Gradasi campuran, proporsi RAP.
7.	Ayudya Retno Wilis Yogie Risdianto	Pengaruh Penambahan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) dan Lawele Granular Asphalt (LGA) sebagai Bahan	Jurnal Rekayasa Teknik Sipil Vol.2, NO. 2/REKAT/18 (2018) Tahun 2018	Mengetahui karakteristik Marshall campuran AC-WC yang	Campuran dengan LGA dan RAP dapat meningkatkan nilai stabilitas Marshall disbanding	Menggunakan material RAP.	Gradasi campuran, proporsi RAP.

No.	Nama Penulis	Judul	Sumber	Pokok Persoalan	Outcome	Persamaan Rencana Riset	Perbedaan Rencana Riset
		Substitusi Agregat pada Campuran Beton Aspal Wearing Course (AC-WC) dengan Fly Ash sebagai Filler.		menggunakan RAP dan LGA.	campuran dengan RAP saja.		