

**Potensi Penggunaan Agregat RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*)
Terhadap Campuran SMA (*Stone Matrix Asphalt*)**

Edi Yusuf Adiman*¹, Benny Hamdi Rhoma Putra², Muhammad Rilly Aka Yogi³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya Km. 12,5 Simpang Baru, Pekanbaru

Submitted : 05, November 2022;

Accepted: 25, Februari, 2023

Abstrak

Pemanfaatan material RAP dalam pekerjaan perkerasan jalan memiliki manfaat baik secara ekonomi maupun lingkungan. Material RAP yang dimanfaatkan dapat berupa aspal, agregat, maupun keduanya. Penelitian ini bertujuan untuk melihat seberapa besar potensi penggunaan agregat RAP sebagai material bahan penyusun campuran SMA. Penentuan variasi agregat RAP yang digunakan berdasarkan kesamaan fungsi, ukuran maksimum agregat, dan tebal minimum penggunaan dari hasil pengujian gradasi agregat RAP. Metode yang digunakan dalam pembuatan dan pengujian benda uji menggunakan metode marshall. Dari hasil pengujian dan analisis gradasi agregat RAP maka variasi agregat RAP yang digunakan pada penelitian ini adalah 0%, 33%, dan 47%. Berdasarkan hasil pengujian marshall pada campuran SMA diperoleh nilai kadar aspal optimum (KAO) variasi agregat RAP 0% sebesar 6,23%, variasi agregat RAP 33% sebesar 6,1%, sedangkan variasi agregat RAP 47% KAO-nya tidak dapat ditentukan karena tidak memenuhi kriteria marshall berdasarkan nilai VMA dan VITM. Dari hasil tersebut dapat dikatakan bahwa potensi penggunaan agregat RAP terhadap campuran SMA adalah sebesar 33%, dimana nilai tersebut telah memperoleh campuran SMA yang memenuhi kriteria marshall dan gabungan agregat RAP dan agregat baru yang dihasilkan juga telah memenuhi standar pengujian agregat.

Kata Kunci : RAP; Agregat RAP; Campuran SMA

Abstract

The advantage of using RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) materials in road pavement has economic and environmental benefits. The RAP materials are used in the form of bitumen only, aggregates only, or both of them. This study proposes to determine the potential of RAP aggregate as a material for an SMA mixture. The variation of RAP aggregate in this study is based on function use, the nominal maximum aggregate size (NMAS), and minimum thickness of use from the results of the RAP aggregate test. The method in the manufacture and testing of specimens using the Marshall method. From the results of the testing and analysis of the RAP aggregate, the variations in RAP

*Corresponding author e-mail: edi.yusuf@eng.unri.ac.id

aggregate used in this study were 0%, 33%, and 47%. The results of the marshall test on the SMA mixture, the optimum bitumen content (OBC) of the RAP 0% was 6.23%, and the RAP 33% was 6.1%, while the RAP 47% OBC could not be determined because it did not fulfill standard requirements of the Marshall based on the value of VMA and VITM. From these results, the potential use of RAP aggregate for SMA mixtures is 33%. This value is the percentage of the RAP aggregate potential in the SMA mixture that fulfills the standard requirements of the Marshall and testing aggregate.

Keywords : *Reclaimed Asphalt Pavement; RAP Aggregate; Stone Matrix Asphalt*

A. PENDAHULUAN

Kecendrungan meningkatnya kebutuhan jaringan jalan di Indonesia diimbangi dengan meningkatnya pembangunan infrastruktur jalan. Berdasarkan data BPS Indonesia (2021), peningkatan panjang jalan di Indonesia dalam satu dekade belakangan adalah sebesar 9,25%. Namun menurut Maha (2020) peningkatan infrastruktur jalan tersebut tidak diimbangi dengan jumlah ketersediaan bahan material jalan yang semakin menurun setiap harinya. Hal tersebut belum termasuk pemeliharaan jalan yang semakin meningkat, seiring dengan meningkatnya kerusakan jalan akibat beban lalu lintas.

Penggunaan material daur ulang yakni RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) merupakan salah satu alternatif yang dapat digunakan dalam menjawab permasalahan di atas. RAP merupakan bahan limbah dari garukan perkerasan aspal yang diperbaiki. Menurut Nono (2018) material RAP dapat menghasilkan bahan campuran yang nilai strukturnya dapat mengimbangi campuran yang baru jika diproses dan ditunjang dengan peralatan yang memadai. Selain itu menurut aspek ekonomi, pemanfaatan RAP dapat menghemat biaya sebesar 14% - 20% (Widayanti et al., 2018). Sehingga dapat dikatakan bahwa material RAP merupakan material yang ekonomis dan ramah lingkungan dan dapat

dimanfaatkan sebagai lapisan perkerasan jalan.

Perkerasan jalan dengan campuran SMA (*Stone Matrix Asphalt*) merupakan campuran aspal yang baru jika dibandingkan dengan campuran AC (*Asphalt Concrete*) dan HRS (*Hot Rolled Sheet*). Campuran ini mulai mendapatkan perhatian di Indonesia yaitu dengan distandarisasinya campuran SMA ini pada tahun 2015 selanjutnya campuran ini telah masuk di dalam Spesifikasi Umum 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan. Dalam rangka persiapan pembangunan perkerasan jalan dengan campuran SMA kedepan, maka dilakukan pengembangan terhadap pemanfaatan material RAP pada campuran SMA. Penelitian terhadap penggunaan RAP pada campuran SMA telah dilakukan oleh Mustofa (2016) dan Rif'an (2016), dengan menggunakan variasi agregat kasar RAP sebesar 0%, 50% dan 100%. Hasil penelitian keduanya pada kadar aspal optimum dengan penggunaan kadar agregat kasar RAP sebesar 50% dapat memenuhi kriteria *Marshall*. Namun kriteria *Marshall* yang digunakan pada penelitian tersebut memiliki beberapa perbedaan dengan kriteria *Marshall* menurut Spesifikasi *Stone Matrix Asphalt* yang terdapat pada SNI 8129:2015. Selain itu, penelitian tersebut belum mempertimbangkan propertis agregat gabungan antara agregat RAP dengan agregat baru terhadap persyaratan agregat

di dalam campuran SMA. Oleh karena itu dalam rangka menjawab permasalahan di atas, maka dilakukanlah penelitian ini dengan maksud dapat menjadi salah satu bahan referensi dalam mendesain campuran SMA dengan menggunakan material RAP.

B. TINJAUAN PUSTAKA

1. *Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)*

RAP merupakan material daur ulang dari lapis perkerasan aspal yang berasal dari perkerasan aspal lama yang telah mengalami proses pengerukan dengan cara *Milling* atau *Full Depth Removal* (TRB, 2011). Material RAP dapat dimanfaatkan kembali untuk lapis perkerasan baru, keperluan pemeliharaan, perbaikan maupun peningkatan perkerasan jalan. Sehingga penggunaan material RAP dapat memberikan keuntungan diantaranya adalah menghemat penggunaan material, mengurangi kerusakan lingkungan, dan menghemat biaya produksi.

Menurut NAPA (1996) material RAP mengandung agregat yang bermutu tinggi jika dikupas dan disaring dengan baik. Meskipun begitu karena material RAP merupakan material lama (yang sudah pernah digunakan), maka material RAP akan cenderung memiliki kelemahan. Sehingga untuk layak digunakan kembali diperlukan desain pencampuran dengan material baru secara tepat agar campuran yang diperoleh dapat memenuhi persyaratan spesifikasi yang disyaratkan.

2. *Stone Matrix Asphalt (SMA)*

Campuran SMA berdasarkan AASHTO M 325-08 (2012) merupakan campuran aspal panas yang terdiri dari kerangka agregat kasar (*coarse aggregate skeleton*) dan campuran agregat halus, bahan pengisi (*filler*) serta aspal dengan kadar relatif tinggi (*rich asphalt binder*

mortar). Campuran SMA memiliki persentase agregat kasar lebih besar (70-80% dari total campuran) dan membutuhkan bahan tambah yang berfungsi sebagai *stabilizer*. Bahan tambah (*stabilizer*) digunakan untuk mencegah atau mengurangi sifat *draindown* yang dimiliki campuran SMA akibat kadar aspal yang relatif tinggi. SNI 8129:2015 merekomendasikan *stabilizer* yang digunakan berjenis serat selulosa berbentuk pelet.

Campuran SMA mulai banyak diaplikasikan karena memiliki keunggulan yaitu ketahanan terhadap deformasi (*rutting*), mempunyai ketahanan gelincir (*skid resistant*) yang cukup tinggi, mengeliminasi kebisingan, serta cocok untuk dilewati beban kendaraan berat. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2018 revisi 2 (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2020), jenis campuran SMA dikelompokkan menjadi:

- a. SMA Tipis: merupakan jenis campuran SMA dengan spesifikasi ukuran partikel agregat maksimum pada campuran adalah 12,5 mm, dengan toleransi tebal lapisan campuran 2 mm, tebal minimum 30 mm dan digunakan untuk lapis fungsional pada pekerjaan pemeliharaan preventif jalan.
- b. SMA Halus: merupakan jenis lapis SMA dengan spesifikasi ukuran partikel agregat maksimum pada campuran adalah 19 mm, dengan toleransi tebal lapisan campuran 3 mm, tebal minimum 40 mm dan digunakan untuk lapis aus pada pekerjaan lapis permukaan jalan.
- c. SMA Kasar: merupakan jenis lapis SMA dengan spesifikasi ukuran partikel agregat maksimum pada campuran adalah 25 mm, dengan toleransi tebal lapisan campuran 3 mm, tebal minimum 50 mm dan

digunakan untuk lapis fondasi pada pekerjaan lapis permukaan jalan.

C. METODE PENELITIAN

1. Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen dengan analisis data secara deskriptif. Metode eksperimen dilakukan di laboratorium, dan laboratorium yang digunakan pada penelitian ini adalah Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Universitas Riau. Landasan dalam menganalisis data penelitian ini adalah Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 (2020), SNI 8129:2015, dan juga mempertimbangkan AASHTO M 325-08 (2012).

2. Bahan Penelitian

Bahan atau material yang digunakan pada penelitian ini terdiri atas agregat RAP, agregat baru, aspal dan bahan tambah (*stabilizer*). Adapun material tersebut bersumber dari:

- Agregat RAP yang digunakan berasal dari pengerukan lapisan perkerasan dengan alat *Cold Milling Machine* di Jalan Garuda Sakti, Kota Pekanbaru, Provinsi Riau.
- Agregat baru yang digunakan berasal dari Pangkalan, Kabupaten Lima Puluh Kota, Provinsi Sumatera Barat.
- Aspal yang digunakan merupakan Aspal Pertamina Pen 60/70.
- Bahan tambah (*stabilizer*) yang digunakan adalah serat selulosa berbentuk pelet dengan nama produk Viatop⁶⁶.

3. Pengujian Bahan

Pengujian bahan dilakukan untuk melihat karakteristik dari propertis bahan yang digunakan. Pengujian bahan dilakukan sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) yang terdapat di dalam Spesifikasi Umum Bina Marga

2018 Revisi 2 (2020). Bahan penelitian yang dilakukan pengujian adalah material agregat RAP, agregat baru, dan aspal. Bahan tambah (*stabilizer*) Viatop⁶⁶ tidak dilakukan pengujian pada penelitian ini, karena menurut hasil penelitian Radetyo (2016) penggunaan bahan tambah (*stabilizer*) Viatop⁶⁶ pada campuran SMA telah memenuhi spesifikasi bahan tambah yang disyaratkan.

4. Pemilihan Jenis Campuran SMA

Penelitian ini menggunakan salah satu diantara ketiga jenis campuran SMA yang ada. Jenis campuran SMA yang dipilih berdasarkan penentuan gradasi agregat campuran beraspal material agregat RAP dari hasil pengujian analisa saringan. Jika gradasi agregat campuran beraspal material agregat RAP bukan merupakan salah satu dari gradasi campuran SMA yang ada, maka penentuan jenis campuran SMA yang digunakan dipilih berdasarkan kesamaan fungsi, ukuran maksimum agregat, dan tebal minimum penggunaan terhadap hasil gradasi agregat campuran beraspal material agregat RAP.

5. Pemilihan Proporsi Agregat RAP

Penentuan besaran proporsi agregat RAP yang digunakan dalam membuat campuran didasari oleh hasil pengujian propertis agregat RAP, agregat baru dan standar persyaratan agregat untuk campuran beraspal berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 (2020). Metode yang digunakan merupakan pendekatan dari metode analitis dalam menentukan proporsi antar fraksi untuk membuat campuran agregat menurut Pusjatan (2019). Persamaan yang digunakan menjadi:

$$P = Aa + Bb, \text{ dimana } a + b = 1 \quad (1)$$

Keterangan:

P = Nilai standar persyaratan agregat (minimum atau maksimum) (%)

A = Nilai hasil pengujian agregat baru (%)

B = Nilai hasil pengujian agregat RAP (%)

a = Proporsi agregat baru (%)

b = Proporsi agregat RAP (%)

Dari persamaan di atas, agar diperoleh campuran antara proporsi agregat RAP dan proporsi agregat baru yang sesuai dengan nilai standar persyaratan agregat, maka persamaan dalam menentukan proporsi agregat RAP menjadi:

a. untuk nilai standar persyaratan agregat maksimum:

$$b > \frac{P-A}{-A+B} \quad (2)$$

b. untuk nilai standar persyaratan agregat minimum:

$$b < \frac{P-A}{-A+B} \quad (3)$$

6. Pembuatan, Pengujian dan Penentuan KAO Pada Campuran SMA

Pembuatan dan pengujian benda uji campuran SMA dilakukan sesuai dengan SNI 06-2489-1991 dengan alat *Marshall*. Untuk penentuan kadar aspal optimum (KAO) campuran diperoleh dari hasil pengujian benda uji *Marshall* dari beberapa variasi kadar aspal yang memenuhi persyaratan campuran SMA berdasarkan SNI 8129:2015 seperti yang terdapat pada Tabel 1. Nilai KAO yang diambil merupakan nilai tengah dari rentang variasi kadar aspal yang menggambarkan hubungan antara kadar aspal rancangan dengan nilai dari setiap parameter kriteria *Marshall* yang memenuhi persyaratan campuran tersebut. Sedangkan untuk variasi kadar

aspal yang digunakan adalah didasari oleh kadar aspal perkiraan (Pb) dan $Pb \pm 0,5\%$ berdasarkan kadar aspal persyaratan campuran. Adapun untuk nilai Pb dapat ditentukan dengan persamaan:

$$Pb = 0,035 (\% CA) + 0,045 (\% FA) + 0,18 (\% Filler) + K \quad (4)$$

Keterangan:

Pb = Kadar aspal perkiraan (%)

CA = Agregat kasar tertahan saringan No. 4

FA = Agregat halus lolos saringan No. 4 dan tertahan No. 200

Filler = Agregat lolos saringan No. 200

K = Nilai konstanta (1,0 – 2,0 untuk SMA)

Tabel 1. Persyaratan campuran SMA

No.	Sifat-sifat Campuran	Persyaratan
1	Kadar aspal, %	6,0 -7,0
2	Jumlah Tumbukan per bidang	50
3	Rongga dalam campuran (VITM), %	4,0 – 5,0
4	Rongga dalam agregat (VMA), %	> 17
5	Stabilitas <i>Marshall</i> , kg	> 600
6	Pelelehan (<i>flow</i>), mm	2,0 – 4,5

(Sumber : SNI 8129:2015)

Untuk persyaratan campuran SMA sesuai SNI 8129:2015 yang lainnya, yang tidak terdapat pada Tabel 1 diabaikan dalam penelitian ini, diantaranya adalah pengujian Rasio *VCA_{mix}/VCA_{dr}* dan *Draindown*. Hal itu dikarenakan pengujian tersebut lebih terfokus kepada penggunaan *stabilizer* yang digunakan, dimana di dalam penelitian ini menggunakan *stabilizer* berbentuk pelet yaitu *Viatop*⁶⁶ yang mana di dalam penelitian Radetyo (2016) yang

menggunakan *stabilizer* yang sama, memperoleh hasil penggunaan Viatop⁶⁶ sebagai *stabilizer* memenuhi persyaratan Rasio VCA_{mix}/VCA_{drc} dan *Draindown*. Selanjutnya untuk pengujian *Tensile Strength Ratio* (TSR) pada VIM $6\% \pm 1\%$ dan stabilitas dinamis belum menjadi tinjauan di penelitian ini.

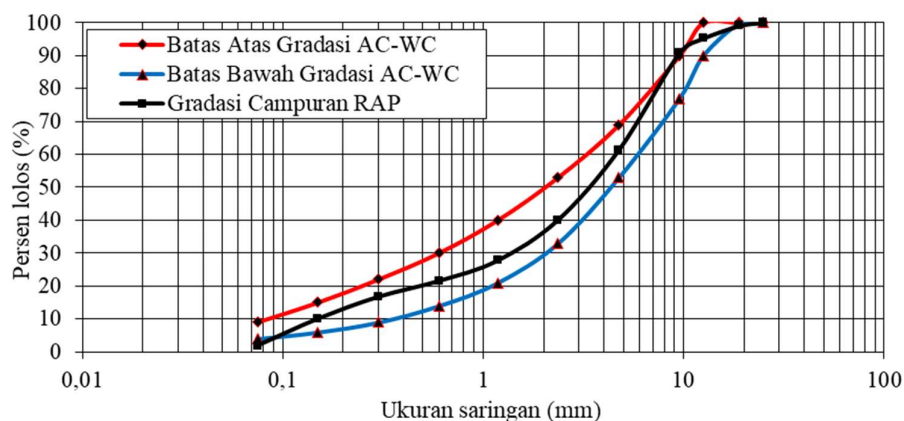
Pembuatan, pengujian dan penentuan KAO pada Campuran SMA yang digunakan pada penelitian ini menggunakan 3 variasi agregat. Diantaranya; penggunaan 100% agregat baru, penggunaan gabungan agregat baru dan agregat RAP yang sesuai dengan nilai standar persyaratan agregat, dan penggunaan gabungan agregat baru dan agregat RAP yang tidak sesuai dengan nilai standar persyaratan agregat pada salah satu jenis pengujian. Penggunaan 3 variasi agregat ini dimaksudkan untuk melihat pengaruh dari penggunaan agregat baru 100% dan gabungan agregat baru dengan agregat RAP yang

menghasilkan campuran agregat yang sesuai dengan nilai standar persyaratan agregat ataupun yang belum, di dalam menghasilkan campuran SMA yang sesuai dengan persyaratan.

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Pengujian Ekstraksi Material RAP

Dari hasil pengujian ekstraksi material RAP yang berdasarkan SNI 03-6894-2002 dan hasil pengujian analisa saringan berdasarkan SNI 03-1968-1990, maka diperoleh kadar aspal yang terdapat di dalam campuran sebesar 5,49% dan campuran memiliki gradasi AC-WC menurut Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 (2020) yang terdiri atas; 38,64% agregat kasar, 59,46% agregat halus dan 1,90% *filler*. Adapun grafik analisa saringan material RAP setelah dilakukan proses ekstraksi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik analisa saringan agregat RAP dengan spesifikasi gradasi campuran AC-WC

2. Hasil Pengujian Properties Agregat

Adapun hasil pengujian propertis agregat RAP dan agregat baru dengan

standar persyaratan agregat campuran SMA berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 (2020) dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian propertis agregat RAP dan agregat baru

No	Jenis Pengujian	Standar Persyaratan	Hasil Pengujian	
			Agg RAP	Agg Baru
Agregat Kasar				
1	Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan Natrium Sulfat (<i>Soundness Test</i>)	Maks. 12%	2,46%	1,31%
2	Abrasi dengan mesin <i>Los Angeles</i>	Maks. 30%	24,05%	21,66%
3	Kelekatan agregat terhadap aspal	Min. 95%	98,00%	95,52%
4	Butir pecah pada agregat kasar	100/90 *)	96/91	100/98
5	Partikel pipih dan lonjong	Maks. 5%	15,06%	4,91%
6	Penyerapan air	Maks. 2%	0,40%	0,47%
7	Berat jenis	-	2,630	2,700
Agregat Halus				
1	Nilai setara pasir (<i>sand equivalent</i>)	Min. 50%	62,96%	78,02%
2	Angularitas dengan uji kadar rongga	Min. 45%	34,00%	49,90%
3	Gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat	Maks. 1%	0,44%	0,32%
4	Penyerapan air	Maks. 2%	0,13%	0,85%
6	Berat jenis	-	2,270	2,621
Filler				
1	Berat jenis semu	-	1,44	2,700

Dari hasil pengujian agregat yang terdapat pada Tabel 2, terdapat tiga jenis pengujian dari material agregat RAP yang tidak memenuhi spesifikasi yaitu pada pengujian butir pecah dan partikel pipih lonjong pada agregat kasar dan pengujian angularitas pada agregat halus, sedangkan untuk material agregat baru semua jenis pengujian memenuhi standar persyaratan agregat campuran SMA berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 (2020).

3. Penentuan Jenis Campuran SMA

Dari hasil identifikasi gradasi agregat RAP pada Subbab D.1, maka dinyatakan gradasi agregat RAP merupakan campuran yang memiliki gradasi campuran AC-WC. Maka secara fungsi, ukuran maksimum agregat, dan tebal minimum penggunaan, campuran bergradasi AC-WC ini mempunyai kesamaan dengan campuran SMA Halus berdasarkan Spesifikasi Umum Bina

Marga 2018 Revisi 2 (2020). Secara fungsi, campuran AC-WC dan campuran SMA Halus sama-sama digunakan untuk lapis aus pada lapis permukaan jalan, sedangkan berdasarkan ukuran maksimum agregat kedua campuran tersebut sama-sama menggunakan agregat maksimum berukuran ½ inci (12,5 mm), serta yang terakhir berdasarkan tebal minimum penggunaan, kedua campuran tersebut juga sama-sama memiliki syarat tebal minimum 40 mm. Berdasarkan hal tersebut di atas, maka jenis campuran SMA yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis campuran SMA Halus.

4. Proporsi Agregat RAP pada Campuran SMA Halus

Proporsi penggunaan agregat RAP di dalam membentuk campuran dilakukan dengan memprioritaskan kepada ketermanfaatan agregat RAP, selanjutnya kekurangannya diisi oleh

agregat baru. Target gradasi yang digunakan dalam penelitian ini merupakan gradasi nilai tengah dari batas spesifikasi gradasi campuran SMA Halus berdasarkan Spesifikasi Umum Bina

Marga 2018 Revisi 2 (2020), sehingga proporsi maksimum yang dihasilkan dari gradasi agregat RAP terhadap campuran SMA Halus dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Proporsi maksimum hasil gradasi agregat RAP terhadap campuran SMA Halus

Saringan		Spesifikasi Lolos (%)		Spek Tertahan	Gradasi Agregat RAP	Proporsi Agg Rap	Proporsi Agg Baru
mm	#	Range	Target	%	% Tertahan	%	%
25	1"	100 - 100	100	0	0,0	0,0	0,0
19	3/4"	100 - 100	100	0	1,0	0,0	0,0
12,5	1/2"	90 - 100	95	5	3,9	3,9	1,1
9,5	3/8"	50 - 80	65	30	4,4	4,4	25,6
4,75	No. 4	20 - 35	27,5	37,5	29,4	29,4	8,1
2,36	No. 8	16 - 24	20	7,5	21,3	7,5	0,0
0,075	No. 200	8 - 11	9,5	10,5	38,2	10,5	0,0
< 0,075	Pan			9,5	1,9	1,9	7,6
Total				100,00	100,00	57,59	42,41

Dari Tabel 3 di atas dapat dilihat bahwa berdasarkan gradasi agregat RAP, proporsi maksimum dari penggunaan agregat RAP terhadap campuran SMA Halus dengan target gradasi nilai tengah dari spesifikasi adalah 57,59%. Ini menandakan bahwa dibutuhkan agregat baru sebanyak 42,41% sebagai tambahan dari penggunaan agregat dalam pembuatan campuran SMA Halus dikarenakan ketidakmampuan dari gradasi agregat RAP dalam memenuhi setiap target gradasi berdasarkan spesifikasi yang ada. Ketidakmampuan ini adalah hal yang wajar karena terdapat perbedaan jenis campuran antara yang sebelumnya agregat RAP memiliki campuran bergradasi AC-WC dan sekarang menjadi campuran SMA Halus.

Proporsi agregat RAP pada Tabel 3 belum dapat digunakan dalam pembuatan campuran dikarenakan ada beberapa pengujian agregat RAP yang tidak memenuhi standar persyaratan agregat pada campuran SMA. Pengujian tersebut adalah pengujian butir pecah dan partikel pipih lonjong pada agregat kasar dan

pengujian angularitas pada agregat halus. Metode yang digunakan untuk dalam penentuan proporsi agregat RAP mengacu pada Persamaan 2 atau Persamaan 3. Persamaan ini dapat digunakan jika gabungan antara agregat RAP dan agregat baru dapat memenuhi standar persyaratan yang telah ditetapkan. Sebagaimana persamaan tersebut tidak mampu menghasilkan standar persyaratan dari gabungan kedua agregat tersebut (contoh dengan standar persyaratan minimal 100%), maka digunakan metode eliminasi. Metode eliminasi yang dimaksudkan disini adalah dengan tidak menggunakan sama sekali (mengeliminasi) agregat nomer saringan tertentu yang digunakan dalam pengujian dimana agregat dengan nomer saringan tertentu tersebut tidak dapat memenuhi spesifikasi yang telah disyaratkan.

Dari hasil pengujian butir pecah dan partikel pipih lonjong pada agregat kasar material RAP yang pengujiannya menggunakan agregat dengan nomer saringan tertahan 1/2 inci dan 3/8 inci, bagaimanapun juga dilakukan

penggabungan dengan agregat baru menggunakan Persamaan 2 atau Persamaan 3 tetap tidak mampu untuk memenuhi standar spesifikasi, maka agregat dengan nomer saringan tersebut dieliminasi (tidak digunakan). Salah satu agregat RAP lainnya yang perlu dieliminasi adalah *filler*. Hal ini dikarenakan terlalu sedikitnya *filler* yang didapat pada agregat RAP dan juga *filler*

pada agregat RAP memiliki selisih nilai berat jenis terlalu besar dengan agregat halus maupun agregat kasarnya. Dari proses eliminasi agregat RAP dengan nomer saringan tertahan ½ inci, 3/8 inci dan *filler*, serta dengan melakukan penggenapan untuk mempermudah perhitungan maka proporsi penggunaan agregat RAP menjadi seperti yang terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Proporsi agregat RAP terhadap campuran SMA Halus setelah proses eliminasi

Saringan		Spesifikasi Lolos (%)		Spek Tertahan	Gradasi Agregat RAP	Proporsi Agg Rap	Proporsi Agg Baru
mm	#	Range	Target	%	% Tertahan	%	%
25	1"	100 - 100	100	0	0,0	0,0	0,0
19	3/4"	100 - 100	100	0	1,0	0,0	0,0
12,5	1/2"	90 - 100	95	5	3,9	0,0	5,0
9,5	3/8"	50 - 80	65	30	4,4	0,0	30,0
4,75	No. 4	20 - 35	27,5	37,5	29,4	29,0	8,5
2,36	No. 8	16 - 24	20	7,5	21,3	7,5	0,0
0,075	No. 200	8 - 11	9,5	10,5	38,2	10,5	0,0
< 0,075	Pan			9,5	1,9	0,0	9,5
Total				100,00	100,00	47,00	53,00

Terakhir, untuk pengujian angularitas agregat halus yang tidak memenuhi standar persyaratan agregat, gabungan agregat dilakukan dengan metode analitis menggunakan Persamaan 3. Dari Tabel 2 diperoleh bahwa hasil pengujian angularitas agregat halus pada agregat RAP adalah sebesar 34% dan hasil pengujian angularitas agregat halus pada agregat baru adalah 49% (penggenapan dari 49,9%) dengan standar persyaratan minimal adalah 45%, sehingga proporsi agregat RAP menjadi:

$$b < (P - A) / (-A + B)$$

$$b < (45 - 49) / (-49 + 34)$$

$$b < 27\%$$

Dari perhitungan di atas, maka proporsi agregat RAP pada agregat halus yang digunakan untuk penggabungan dengan agregat baru adalah sebanyak < 27%. Nilai 27% ini merupakan nilai proporsi yang akan digunakan pada

penggunaan agregat halus berdasarkan jumlah agregat RAP yang digunakan sebelumnya (Tabel 4). Dari tabel tersebut, agregat halus yang digunakan pada campuran SMA Halus adalah agregat dengan nomer saringan tertahan No. 8 sebanyak 7,5% dan No. 200 sebanyak 10,5%. Sehingga agregat RAP yang digunakan pada saringan tertahan No. 8 dan tertahan No. 200 setelah proses penggabungan metode analitis menjadi:

$$\text{Proporsi tertahan No. 8} < 27\% \times 7,5\% = 2,025\% \sim 2\%$$

$$\text{Proporsi tertahan No. 200} < 27\% \times 10,5\% = 2,835\% \sim 2\%$$

Dari perhitungan di atas, maka proporsi agregat RAP yang digunakan pada rancangan campuran SMA Halus dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Proporsi agregat RAP terhadap campuran SMA Halus setelah proses penggabungan agregat metode analitis

Saringan		Spesifikasi Lolos (%)		Spek Tertahan	Gradasi Agregat RAP	Proporsi Agg Rap	Proporsi Agg Baru
mm	#	Range	Target	%	% Tertahan	%	%
25	1"	100 - 100	100	0	0,0	0,0	0,0
19	3/4"	100 - 100	100	0	1,0	0,0	0,0
12,5	1/2"	90 - 100	95	5	3,9	0,0	5,0
9,5	3/8"	50 - 80	65	30	4,4	0,0	30,0
4,75	No. 4	20 - 35	27,5	37,5	29,4	29,0	8,5
2,36	No. 8	16 - 24	20	7,5	21,3	2,0	5,5
0,075	No. 200	8 - 11	9,5	10,5	38,2	2,0	8,5
< 0,075	Pan			9,5	1,9	0,0	9,5
Total				100,00	100,00	33,00	67,00

Gabungan agregat dengan proporsi agregat RAP 33% dan agregat baru 67% seperti yang terdapat pada Tabel 5, merupakan gabungan agregat yang telah memenuhi standar persyaratan agregat pada campuran SMA berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 (2020) dengan menggunakan pendekatan metode analitis.

5. Penentuan KAO Berdasarkan Persyaratan Campuran SMA

Dalam menentukan KAO campuran diperlukan beberapa variasi kadar aspal berdasarkan nilai Pb. Dari Persamaan 4 diperoleh nilai Pb campuran SMA Halus dengan target gradasi nilai tengah dari batas spesifikasi adalah sebesar 6,5%. Sehingga berdasarkan persyaratan campuran SMA pada Tabel 1, maka variasi kadar aspal yang digunakan dalam menentukan KAO adalah 6,0%, 6,5% dan 7,0%. Masing-masing variasi kadar aspal digunakan dalam menentukan KAO pada masing-masing variasi agregat yang digunakan. Adapun yang menjadi variasi agregat pada penelitian ini adalah:

a. variasi agregat 1 merupakan agregat baru 100%,

b. variasi agregat 2 merupakan gabungan agregat dengan proporsi agregat RAP 33% dan agregat baru 67% berdasarkan Tabel 5, dan

c. variasi agregat 3 merupakan gabungan agregat dengan proporsi agregat RAP 47% dan agregat baru 53% berdasarkan Tabel 4.

Penggunaan variasi agregat ini sesuai dengan Subbab C.5 yaitu variasi agregat 1 dengan penggunaan 100% agregat baru (memenuhi standar persyaratan agregat), variasi agregat 2 dengan gabungan agregat RAP dan agregat baru dengan proporsi 33% : 67% (memenuhi standar persyaratan agregat secara analitis) dan variasi agregat 3 dengan gabungan agregat RAP dan agregat baru dengan proporsi 47% : 53% (tidak memenuhi standar persyaratan agregat salah satu jenis pengujian). Tiga variasi agregat dengan tiga variasi kadar aspal di atas digunakan dalam membuat campuran SMA Halus dengan metode *Marshall*. Adapun hasil pengujian *Marshall* campuran SMA Halus dapat dilihat pada Tabel 7 dengan menggunakan aspal yang propertisnya dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil pengujian propertis aspal pen 60/70

No	Jenis Pengujian	Satuan	Standar Persyaratan	Hasil
1	Penetrasi pada 25°C	0,1 mm	60 – 70	60
2	Viskositas kinematis pada 135°C (cSt)	cSt	≥ 300	500
3	Titik lembek	°C	≥ 48	48,4
4	Daktilitas pada 25°C	cm	≥ 100	≥ 150
5	Titik nyala	°C	≥ 232	352
6	Kelarutan dalam TCE (<i>Trichloroethylene</i>)	%	≥ 99	99,94
7	Berat jenis aspal		≥ 1,0	1,0372
Pengujian Residu hasil TFOT (SNI-06-2440-1991) atau RTFOT (SNI-03-6835-2002) :				
8	Kehilangan berat	%	≤ 0,8	0,01
9	Penetrasi pada 25°C setelah kehilangan berat	%	≥ 54	93
10	Daktilitas pada 25°C setelah kehilangan berat	cm	≥ 50	≥ 100

Tabel 7. Hasil pengujian *Marshall* pada campuran SMA Halus dengan 3 variasi agregat

Kriteria	Persyaratan campuran	Variasi Agregat 1 (Kadar aspal, %)			Variasi Agregat 2 (Kadar aspal, %)			Variasi Agregat 3 (Kadar aspal, %)		
		6,0	6,5	7,0	6,0	6,5	7,0	6,0	6,5	7,0
<i>Density</i> (gr/cm ³)	-	2,346	2,344	2,366	2,319	2,340	2,341	2,326	2,327	2,325
VMA (%)	> 17 %	17,9	18,4	18,1	17,7	17,4	17,8	15,6	16,0	16,6
VITM (%)	4 - 5 %	5,0	3,9	2,6	4,6	3,1	2,4	2,6	1,8	1,3
VFWA (%)	-	72,8	77,0	85,5	73,8	82,2	86,7	83,4	88,5	92,3
Stabilitas (kg)	> 600 kg	661	628	660	688	759	689	709	731	694
<i>Flow</i> (mm)	2 - 4,5 mm	3,9	3,8	3,3	3,8	3,5	4,1	3,0	3,7	3,8
MQ (kg/mm)	-	172	167	200	181	217	168	240	200	183

Dari hasil pengujian *Marshall* yang terdapat pada Tabel 7, kemudian ditentukan nilai kadar aspal optimum (KAO) campuran berdasarkan nilai tengah dari rentang kadar aspal yang menggambarkan hubungan antara variasi kadar aspal dengan nilai dari setiap

parameter kriteria *Marshall* yang memenuhi persyaratan campuran. Penentuan nilai KAO pada masing-masing variasi agregat dapat dilihat pada Gambar 2, Gambar 3 dan Gambar 4.

No.	Kriteria	SNI 8129:2015		Kadar Aspal				
		Min	Max	Hasil Interpolasi (%)		Diagram Batang (%)		
				Min.	Max.	6,0	6,5	7,0
1	Density (gr/cm ³)	Tidak diatur		6,00	7,00			
2	VMA (%)	17	-	6,00	7,00			
3	VITM (%)	4	5	6,01	6,46			
4	VFWA (%)	Tidak diatur		6,00	7,00			
5	Stabilitas Marshall (kg)	600	-	6,00	7,00			
6	Marshall Flow (mm)	2	4,5	6,00	7,00			
7	MQ (kg/mm)	Tidak diatur		6,00	7,00			
8	Batasan Kadar Aspal	6	7	6,00	7,00			
Range Kadar Aspal						6,01	6,46	
Kadar Aspal Optimum						6,23		

Gambar 2. Penentuan Nilai KAO Campuran SMA Halus dengan Menggunakan Variasi Agregat 1

No.	Kriteria	SNI 8129:2015		Kadar Aspal				
		Min	Max	Hasil Interpolasi (%)		Diagram Batang (%)		
				Min.	Max.	6,0	6,5	7,0
1	Density (gr/cm ³)	Tidak diatur		6,00	7,00			
2	VMA (%)	17	-	6,00	7,00			
3	VITM (%)	4	5	6,00	6,20			
4	VFWA (%)	Tidak diatur		6,00	7,00			
5	Stabilitas Marshall (kg)	600	-	6,00	7,00			
6	Marshall Flow (mm)	2	4,5	6,00	7,00			
7	MQ (kg/mm)	Tidak diatur		6,00	7,00			
8	Batasan Kadar Aspal	6	7	6,00	7,00			
Range Kadar Aspal						6,00	6,20	
Kadar Aspal Optimum						6,10		

Gambar 3. Penentuan Nilai KAO Campuran SMA Halus dengan Menggunakan Variasi Agregat 2

No.	Kriteria	SNI 8129:2015		Kadar Aspal				
		Min	Max	Hasil Interpolasi (%)		Diagram Batang (%)		
				Min.	Max.	6,0	6,5	7,0
1	Density (gr/cm ³)	Tidak diatur		6	7			
2	VMA (%)	17	-	-	-			
3	VITM (%)	4	5	-	-			
4	VFWA (%)	Tidak diatur		6	7			
5	Stabilitas Marshall (kg)	600	-	6	7			
6	Marshall Flow (mm)	2	4,5	6	7			
7	MQ (kg/mm)	Tidak diatur		6	7			
8	Batasan Kadar Aspal	6	7	6	7			
Range Kadar Aspal								
Kadar Aspal Optimum						Tidak Dapat Ditentukan		

Gambar 4. Penentuan Nilai KAO Campuran SMA Halus dengan Menggunakan Variasi Agregat 3

Dari Gambar 2, Gambar 3 dan Gambar 4 dapat dilihat bahwa nilai KAO campuran SMA Halus dengan variasi

agregat 1 (100% agregat baru) adalah 6,23%, dan variasi agregat 2 (33% agregat RAP : 67% agregat baru) adalah

6,10%, sedangkan pada variasi agregat 3 (47% agregat RAP : 53% agregat baru) nilai KAO tidak dapat ditentukan, karena pada variasi tersebut kriteria *Marshall* yang berupa VMA dan VITM tidak memenuhi persyaratan campuran SMA Halus. Dari pernyataan hasil tersebut di atas dapat dikatakan bahwa gabungan antara agregat RAP dan agregat baru untuk menghasilkan campuran SMA Halus berdasarkan hasil pengujian *Marshall* dapat dipenuhi ketika gabungan kedua agregat tersebut menghasilkan nilai pengujian yang telah memenuhi standar persyaratan agregat setidaknya dengan menggunakan pendekatan metode analitis.

E. KESIMPULAN

Adapun yang menjadi kesimpulan dalam penelitian ini adalah bahwa potensi penggunaan agregat RAP di dalam campuran SMA Halus berdasarkan data pengujian adalah sebesar 33%. Penggunaan agregat RAP sebanyak 33% ini dapat memenuhi semua kriteria *Marshall* yang ditetapkan dan memperoleh nilai KAO sebesar 6,10%.

Sedangkan yang menjadi saran penelitian ini untuk penelitian selanjutnya adalah agar penelitian selanjutnya dapat melakukan pembuktian kembali dengan pengujian agregat terhadap gabungan agregat yang proporsi masing-masingnya sudah ditetapkan dan untuk campurannya dapat menggunakan semua persyaratan dari kriteria *Marshall* yang ada.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Universitas Riau melalui LPPM sebagai pemberi dana penelitian ini. Terima kasih juga kami sampaikan kepada Tim Laboratorium Teknik Transportasi FT UNRI atas

bantuannya sehingga penelitian ini dapat diselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO M 325-08. (2012). *Standard Specification for Stone Matrix Asphalt (SMA)*. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- BPS Indonesia. (2021). *Panjang Jalan Menurut Tingkat Kewenangan*. <https://www.bps.go.id/indicator/17/50/1/panjang-jalan-menurut-tingkat-kewenangan.html>
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2020). *Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 2)*. Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat.
- Maha, I. (2020). *Daur Ulang Aspal dengan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)*. <http://dbmtr.jabarprov.go.id/daur-ulang-aspal-dengan-rap/>
- Mustofa, H. (2016). *Pengembangan Campuran Bergradasi Split Mastic Asphalt (SMA) Menggunakan Bahan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Dan Limbah Arang Batubara*. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- NAPA. (1996). *Hot Mix Asphalt Materials Mixture Design and Construction*. NAPA Education Foundation.
- Nono. (2018). *Campuran Beraspal Panas Daur Ulang Dengan Proporsi RAP Tinggi*. Puslitbang Jalan dan Jembatan.
- Pusjatan. (2019). *Modul 3 : Pembuatan Campuran Kerja*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Radetyo, R. (2016). *Kajian Implementasi*

Adiman, E.Y., Putra, B.H.R., Yogi, M.R.A. / Potensi Penggunaan Agregat RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) Terhadap Campuran SMA (*Stone Matrix Asphalt*)

Siklus : Jurnal Teknik Sipil Vol 9, No. 1 April 2023, pp 43-56

Laboratorium Terhadap SNI 8129: 2015 Tentang Spesifikasi Stone Matrix Asphalt (SMA) Menggunakan Aspal Penetrasi 60/70. Universitas Gadjah Mada.

Rif'an, A. (2016). *Pengembangan Campuran SMA (Split Mastic Asphalt) Menggunakan Bahan RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) Dan Ijuk.* Universitas Muhammadiyah Surakarta.

SNI 8129:2015. (2015). *Spesifikasi Stone Matrix Asphalt (SMA).* Badan Standardisasi Nasional.

TRB. (2011). *A Manual for Design of Hot Mix Asphalt with Commentary*

(Report 673). Transportation Research Board.

Widayanti, A., Soemitro, R. A. A., Putri, J. J. E., & Suprayitno, H. (2018). Tinjauan aspek ekonomi pemanfaatan reclaimed asphalt pavement dari jalan nasional di Provinsi Jawa Timur. *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas*, 2.



© 2023 Siklus Jurnal Teknik Sipil All rights reserved. This is an open access article distributed under the terms of the CC BY License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)