

Kajian Penelitian Limbah Arang Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Tambah Pada Aspal Untuk Campuran *Split Mastic Asphalt* Berbasis RAP

Bima Depati Pratama Rachman¹⁾

Sasana Putra²⁾

Aleksander Purba³⁾

Dwi Herianto⁴⁾

Abstract

Damaged asphalt roads can be repaired with Reclaimed Asphalt Pavement (RAP). This method is carried out using asphalt waste which is crushed into chunks and later be reused. However, because this pavement has a weakness in terms of quality, an innovation was carried out by adding coconut shell charcoal (ATK) waste as a an additive in asphalt mixture. This research is based on Marshall testing to determine the performance of a mixture of Split Mastic Asphalt (SMA) with coconut shell charcoal. From the results of the Marshall Characteristics test on the RAP-based SMA mixture with the addition of ATK asphalt content, it shows that for each addition of ATK asphalt content of 3% successively there will be an increase in the stability value with an average increase of 9% at 25% RAP, 7% at 50% RAP and 6% at 75% RAP. So in the IKS test it can be concluded that ATK added material can increase the IKS value as an indicator of the durability of the asphalt mixture.

Key words: Reclaimed Asphalt Pavement (RAP), Innovation, Coconut Shell Charcoal (ATK), Split Mastic Asphalt (SMA).

Abstrak

Jalan aspal yang mengalami kerusakan dapat dilakukan perbaikan dengan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP). Metode ini dilakukan dengan menggunakan limbah aspal yang dihancurkan menjadi bongkahan dan nantinya dimanfaatkan kembali. Namun, dikarenakan perkerasan ini memiliki kelemahan dalam hal kualitas, maka dilakukan suatu inovasi dengan penambahan limbah Arang Tempurung Kelapa (ATK) sebagai bahan tambah pada aspal. Penelitian ini didasarkan pada pengujian Marshall untuk mengetahui kinerja campuran Split Mastic Asphalt (SMA) dengan arang tempurung kelapa. Dari hasil pengujian Karakteristik Marshall pada campuran SMA berbasis RAP dengan penambahan kadar aspal ATK, menunjukkan bahwa pada setiap penambahan kadar aspal ATK sebesar 3% secara berturut-turut akan mengalami peningkatan nilai satabilitas dengan diperoleh kenaikan nilai rata-rata sebesar 9% pada RAP 25%, 7% pada RAP 50% dan 6% pada RAP 75%. Sehingga pada pengujian IKS dapat disimpulkan bahwa bahan tambah ATK dapat meningkatkan nilai IKS sebagai indikator durabilitas campuran aspal.

Kata kunci: Reclaimed Asphalt Pavement (RAP), inovasi, Arang Tempurung Kelapa (ATK), Split Mastic Asphalt (SMA).

¹⁾Mahasiswa pada Program Studi S1 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Surel: Bimadepati1704@gmail.com

²⁾Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

³⁾Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

⁴⁾Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

1. PENDAHULUAN

Perkerasan jalan adalah lapisan perkerasan yang terletak di antara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan, yang berfungsi memberikan pelayanan kepada transportasi, dan selama masa pelayanannya diharapkan tidak terjadi kerusakan yang berarti. Pelaksanaan perkerasan jalan yang kurang baik perencanaan, akibatnya akan berdampak pada konstruksi jalan (Sukirman, 2003). Hal-hal yang dapat menyebabkan adanya kerusakan jalan meliputi deformasi, retak leleh, kegemukan, penuaan aspal, dan sebagainya. Penuaan aspal merupakan menguapnya bagian cair dari aspal karena adanya pemanasan. Proses penuaan jangka pendek terjadi saat pencampuran di AMP (*Asphalt Mixing Plant*) sedangkan proses penuaan jangka panjang terjadi saat masa operasi jalan dalam melayani lalu lintas selama umur rencana. Penuaan aspal menyebabkan aspal menjadi getas dan kehilangan daya lekatnya. Saat aspal mengalami kehilangan daya lekat terjadi pengelupasan agregat ketika di lalui beban lalu lintas. Pengelupasan agregat mengakibatkan terjadinya perubahan ukuran agregat. Sehingga, perkerasan jalan yang mengalami kerusakan dilakukan perbaikan dengan dibongkar menjadi bongkahan atau limbah aspal yang biasa disebut *reclaimed asphalt pavement* (RAP) (Sukirman, 2016). Oleh karena itu, dibutuhkan suatu inovasi dalam memanfaatkan limbah RAP dengan cara digunakan sebagai campuran aspal baru dengan penambahan bahan arang tempurung kelapa yang diharapkan dapat menambah nilai karakteristik pada campuran aspal tersebut. Berdasarkan inovasi tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik *marshall* pada campuran *Split Mastic Asphalt (SMA) berbasis Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)* dengan bahan tambah limbah arang tempurung kelapa (ATK)

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Material

Pada penelitian ini bahan-bahan yang dipersiapkan yaitu RAP, agregat kasar, agregat halus, *filler*, aspal pen 60/70, dan bahan pengikat alami (*natural binder*) berupa arang tempurung kelapa.

2.2.1 Material Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)

Reclaimed asphalt pavement (RAP) adalah perkerasan jalan yang telah rusak yang kemudian digali dan dihancurkan menjadi semacam agregat. Pada awalnya, bahan RAP ini merupakan limbah yang tidak dimanfaatkan dan menumpuk di suatu tempat yang mengganggu lingkungan sekitarnya. Kemudian, saat ini mulai dimanfaatkan karena dorongan isu lingkungan untuk mengurangi eksploitasi sumber daya alam, hemat energi, dan mereduksi gas emisi CO₂. Namun, penggunaan RAP sebagai bahan perkerasan baru memiliki kendala dalam hal kualitas. Maka, diperlukan suatu campuran agar RAP ini menjadi lebih baik yaitu dengan memperbaiki komposisi campurannya seperti penambahan *filler*, agregat baru, aspal baru, dan dengan penambahan bahan tambah lainnya. Material yang digunakan akan ditambah beberapa persen material yang baru untuk mendapatkan hasil yang diinginkan. Kelebihan perkerasan yang menggunakan daur ulang yaitu apabila digunakan secara tepat, *recycling* dapat menghemat biaya, membantu melakukan konservasi bahan alam, dan dapat menjaga geometri perkerasan. Ketergangguan lalu lintas juga berkurang dibanding teknik rehabilitasi lainnya.

2.2.2 Split Mastic Asphalt

Split Mastic Asphalt (SMA) adalah campuran agregat kasar, agregat halus, bahan pengisi, aspal dan bahan tambah, atau merupakan campuran beton aspal panas bergradasi senjang yang terdiri dari campuran split, mastik aspal, serta bahan tambah. Penggunaan agregat kasar dengan persentase yang tinggi mengakibatkan agregat saling mengunci (*interlocking*) sehingga menghasilkan campuran aspal yang tahan terhadap *rutting*. *Split*

Mastic Asphalt telah dibakukan dalam petunjuk pelaksanaan dengan spesifikasi Ztv-bit STB 84.

Tabel 1. Spesifikasi SMA Grading 0/11

No	Jenis Pemeriksaan	Persyaratan
1	Agregat	
	< 0,09 mm, % berat	8 – 13
	> 2 mm, % berat	70 – 80
	> 5 mm, % berat	50 – 70
	> 8 mm, % berat	≥ 25
	> 11,2 mm, % berat	≤ 10
2	Aspal	
	a. Jenis	AC 60/70
	b. Kadar , % berat total campuran	6 – 7,5
3	Additif	
	a. Jenis	CF31500
	b. Kadar, % berat total campuran	7%
4	Kriteria dari Marshall Test	
	a. Pemadatan, tumbukan	2 x 75
	b. Stabilitas, kg	670
	c. Rongga terisi aspal	76-82
	d. Rongga dalam campuran, % campuran	3-5
	e. Kelelahan (flow), mm.	2-4
	f. Indeks perendam 48 jam, %	75
g. Marshall Quotient	190-300	
5	Tebal pengaspalan, cm	3-5
6	Derajat kepadatan, %	≥70

Tabel 2. Gradasi Agregat Split Mastic Asphalt (SMA)

Uraian	Satuan
Gradasi Agregat	(% Lolos Saringan)
12,50 mm	100
11,20 mm	0 – 100
8,00 mm	50 – 75
5,00 mm	30 – 50
2,00 mm	20 – 30
0,71 mm	13 – 25
0,25 mm	10 – 20
0,09 mm	8 – 13

2.2.3 Agregat

Agregat merupakan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lain yang berasal dari alam maupun buatan yang berbentuk mineral padat berupa ukuran besar maupun kecil atau fragmen-fragmen. Pembagian agregat berdasarkan ukuran butiran dapat dikelompokkan menjadi 3 (tiga), yaitu agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi (*filler*).

2.2.4 Filler

Adalah bagian dari agregat halus yang minimum 75% lolos saringan no. 200 (0,075 mm). dan termasuk kapur hidrat, abu terbang, portland semen, dan abu batu yang tidak kurang dari 75%, non-plastis. *Filler* dapat berfungsi untuk mengurangi kepekaan terhadap temperatur serta mengurangi jumlah rongga udara dalam campuran. Semua campuran

beraspal yang mengandung bahan pengisi yang ditambahkan (*filler added*) harus dalam rentang 1-2% dari berat total campuran agregat.

2.2.5 Arang Tempurung Kelapa

Berdasarkan kandungan yang ada pada arang tempurung kelapa yaitu memiliki kadar karbon yang sama dengan aspal yaitu Carbon non Polar, maka pada penelitian ini digunakan arang tempurung kelapa yang berbentuk bubuk dengan uji lolos saringan No.200. Penggunaan bubuk arang tempurung kelapa dalam campuran aspal digunakan untuk meningkatkan stabilitas dari lapis perkerasan seperti penelitian sebelumnya (Mashuri, 2013). yaitu menggunakan variasi campuran 2%, 4% 8% dan 12% arang tempurung kelapa. Pada penelitian tersebut, penggunaan campuran 2% mampu meningkatkan nilai stabilitas, kelelahan plastis dan durabilitas. Sedangkan diatas penggunaan 12% arang tempurung kelapa dapat mengurangi besarnya nilai stabilitas sisa (durabilitas campuran beton aspal menjadi rendah). Yang dimana dalam penelitian yang juga akan dijalani ini terdapat metode Indeks Kekuatan Sisa (IKS).

2.2. Metodologi

2.2.1 Metode Marshall

Metode Marshall adalah metode yang paling umum digunakan dan distandarisasikan dalam (ASTM, 2013). Parameter Marshall yaitu terdiri dari 3 parameter yaitu beban maksimum yang dapat diterima benda uji sebelum hancur atau disebut dengan Marshall Stability, deformasi permanen dari benda uji sebelum hancur atau disebut *Marshall Flow*, dan turunan atau perbandingan antara Stability dan Flow yang biasa disebut *Marshall Quotient* (MQ).

Pengujian Marshall menggunakan alat tekan Marshall yang dilengkapi dengan cincin penguji (Proving Ring) berkapasitas 22,2 KN (5000 lbs) dan flow meter. Benda uji Marshall standar berbentuk silinder dengan tinggi 2,5 inch (6,35 cm) dan berdiameter 4 inch (10,16 cm).

2.2.2 Indeks Kekuatan Sisa (IKS)

Nilai IKS yang disyaratkan oleh Spesifikasi Umum Bina Marga (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018) adalah minimum 90%. Indeks Kekuatan Sisa (IKS) dapat dihitung menggunakan rumus:

$$IKS = \frac{S1}{S2} \times 100 \quad (1)$$

Keterangan:

IKS = Indeks Kekuatan Sisa (%)

S1 = nilai rata-rata stabilitas Marshall setelah perendaman selama T1 (Kg)

S2 = nilai rata-rata stabilitas Marshall setelah perendaman selama T2 (Kg)

3. METODE PENELITIAN

3.1. Penyiapan Material

Material yang dipersiapkan untuk penelitian ini yaitu arang tempurung kelapa, aspal pen 60/70, agregat kasar, agregat halus, reclaimed asphalt pavement dan filler.

3.2. Pengujian Material

3.2.1. Material Aspal

Pengujian aspal dilakukan dengan melakukan uji penetrasi, titik lembek, daktilitas dan berat jenis. Aspal yang digunakan dalam penelitian ini yaitu aspal dengan penetrasi 60/70,

dimana aspal dimodifikasi dengan menambahkan arang tempurung kelapa yaitu sebanyak 0%, 3%, 6%, dan 9%.

Tabel 3. Hasil Pengujian Aspal

No	Jenis Pengujian	Satuan	Metode Uji	Spesifikasi	Kadar Arang Tempurung Kelapa (%)			
					0	3	6	9
1	Penetrasi	0,1 mm	SNI-06-2456-1991	Min. 40	65	60,8	55,8	53
2	Berat Jenis	gr/cm ³	SNI-06-2441-1991	≥ 1	1,014	1,081	1,101	1,117
3	Titik Lembek	°C	SNI-06-2434-1991	≥ 52	51,5	55,5	56,5	57,5
4	Daktilitas	cm	SNI-06-2432-1991	≥ 100	110	90	75	60

3.2.2. Material Agregat

Agregat yang digunakan dalam penelitian ini perlu melalui beberapa pengujian guna mengetahui sifat-sifat fisik dari masing-masing agregat, yaitu diantaranya uji analisa saringan, uji berat jenis, uji keausan agregat (*los angeles test*), uji kekuatan agregat terhadap tumbukan (*aggregate impact value*), serta uji kekuatan agregat terhadap tekanan (*aggregate crushing value*).

Tabel 4. Hasil Pengujian Agregat

No	Jenis Pengujian	Satuan	Syarat	Hasil
A Agregat Kasar(SNI 03-1969-1990)				
1	Berat jenis <i>bulk</i>	gr/cm ³	≥2,5	2,5650
2	Berat jenis SSD	gr/cm ³	≥2,5	2,5933
3	Berat jenis semu	gr/cm ³	≥2,5	2,6771
4	Penyerapan	%	<3	1,9636
B Agregat Butir Tengah(SNI 03-1969-1990)				
1	Berat jenis <i>bulk</i>	gr/cm ³	≥2,5	2,5650
2	Berat jenis SSD	gr/cm ³	≥2,5	2,6052
3	Berat jenis semu	gr/cm ³	≥2,5	2,6752
4	Penyerapan	%	<3	1,5721
C Abu batu(SNI 03-1969-1990)				
1	Berat jenis <i>bulk</i>	gr/cm ³	≥2,5	2,6273
2	Berat jenis SSD	gr/cm ³	≥2,5	2,6573
3	Berat jenis semu	gr/cm ³	≥2,5	2,7084
4	Penyerapan	%	<3	1,1409
D	<i>Aggregate Crushing Volume</i>	%	Maks 30	0,91
E	<i>Aggregate Impact Volume</i> (BS 812:part 3: 1975)	%	Maks 30	6,013
F	<i>Los Angeles Abrasion Test</i> (SNI 03-2417:2008)	%	Maks 40	15,772

3.2.3 RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*)

Pada penelitian ini dilakukan pengujian terhadap benda uji RAP yang bertujuan untuk mengetahui sifat – sifat benda uji RAP agar dapat digunakan kembali menjadi campuran perkerasan yang baru. Proses ekstraksi menggunakan metode ekstraksi sentrifugal.

3.3. Pembuatan Benda Uji

3.3.1. Benda Uji KAO (*Kadar Aspal Optimum*)

Setelah dilakukan pengujian material yang akan digunakan, dilakukannya pengujian *marshall* untuk mendapatkan KAO yaitu sebanyak 45 benda uji berdasarkan nilai Pb

(Kadar Aspal Rencana) yaitu dua dibawah nilai Pb dan dua diatas nilai Pb dengan interval 0,5% dan kadar RAP 25%, 50% dan 75% dengan bahan tambah campuran arang tempurung kelapa pada aspal sebesar 0%, 3%, 6% dan 9%.

3.3.2. Benda Uji Durabilitas

Setelah KAO didapat dilakukan pembuatan benda uji durabilitas pada masing-masing kadar arang tempurung kelapa pada suhu 60°C.

Tabel 5. Benda Uji untuk Memperoleh IKS dengan bahan Tambah ATK

Lama Perendaman	Kadar Arang Tempurung Kelapa x Kadar RAP												Jumlah Benda Uji
	0%			3%			6%			9%			
	25 %	50%	75%	25%	50%	75%	25%	50%	75%	25%	50%	75%	
0,5 Jam	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	36
24 Jam	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	36
Total	TOTAL BENDA Uji KAO + BENDA Uji IKS												72
													117

3.3.3. Pengujian Benda Uji

Pengujian yang dilakukan pada benda uji tersebut yaitu uji *Marshall* untuk mengetahui pengaruh perendaman secara menerus terhadap campuran beraspal yaitu berupa nilai karakteristik *marshall*. Kemudian nilai karakteristik *marshall* tersebut digunakan untuk memperoleh durabilitas berupa nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

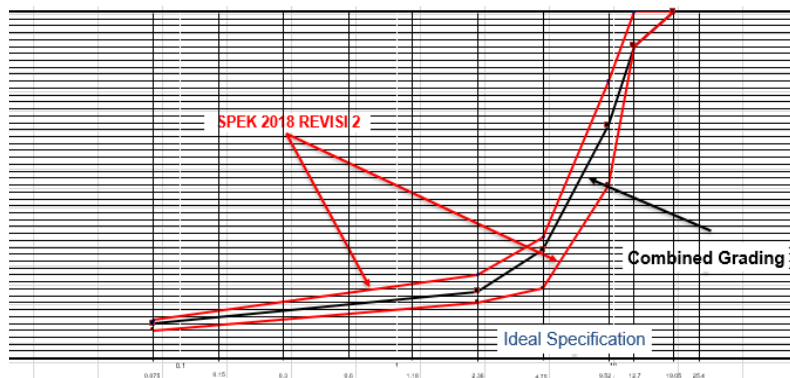
4.1. Hasil Pengujian Bahan

Hasil dari pengujian bahan yang terdiri dari pengujian *properties* aspal dan agregat telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018), Selanjutnya untuk mengetahui proporsi dari masing-masing agregat diperlukannya uji analisa saringan. Hasil dari sebaran gradasi agregat dapat dilihat pada

Tabel 6. Gradasi Kombinasi Analisa Saringan

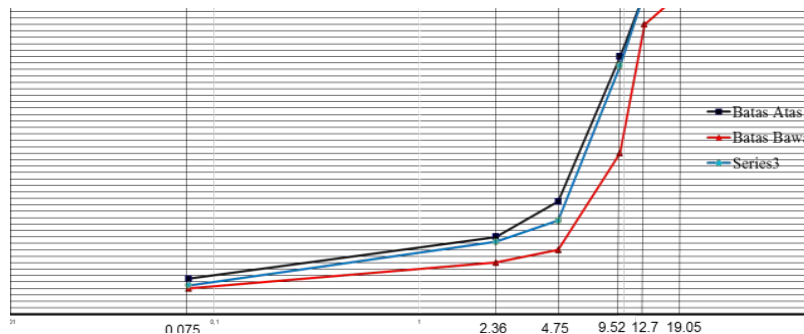
Sieve Size	Mm	19	12,5	9,5	4,75	2,36	0,075
	Inch		1/2"	3/8"	#4	#8	#200
Agregat 1-2	50	50,0	40,1	17,2	0,4	0,0	0,0
Sc	20	20,0	20,0	20,0	5,2	0,4	0,09
Abu Batu	21	21,0	21,0	21,0	16,5	9,7	0,8
Filler	9	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0
Combined	100	100	90,1	67,2	31,2	19,1	9,9
Ideal Specification	100	100	95,0	65,0	27,5	20,0	9,5
Specification	100	100	90 – 100	50 – 80	20 – 35	16 – 24	8 – 11

Gambar 1. Grafik gradasi kombinasi analisa saringan



Tabel 7. Hasil Ekstraksi Gradasi Agregat RAP

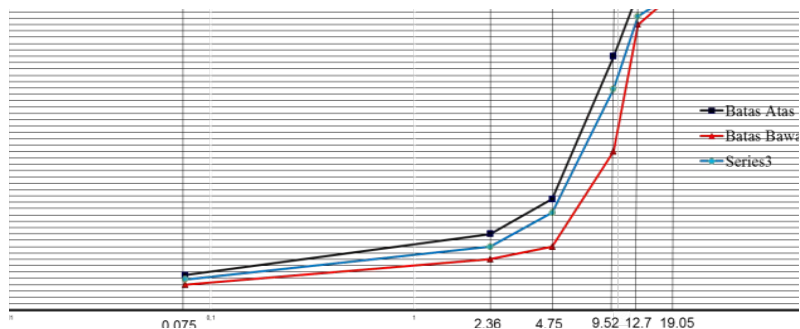
Saringan (mm)	Agregat Baru %	RAP %	% Lolos Saringan Kumulatif
19	75,00	25,00	100
12,5	67,57	25,00	92,57
9,5	50,45	19,27	69,72
4,75	23,46	7,26	30,72
2,36	14,34	5,62	19,96
0,075	7,45	2,24	9,69
0	0	0	0



Gambar 2. Gradasi RAP

Saringan (mm)	Agregat Baru %	RAP %	% Lolos Saringan Kumulatif
19	75,00	25,00	100
12,5	67,57	25,00	92,57
9,5	50,45	19,27	69,72
4,75	23,46	7,26	30,72
2,36	14,34	5,62	19,96
0,075	7,45	2,24	9,69
0	0	0	0

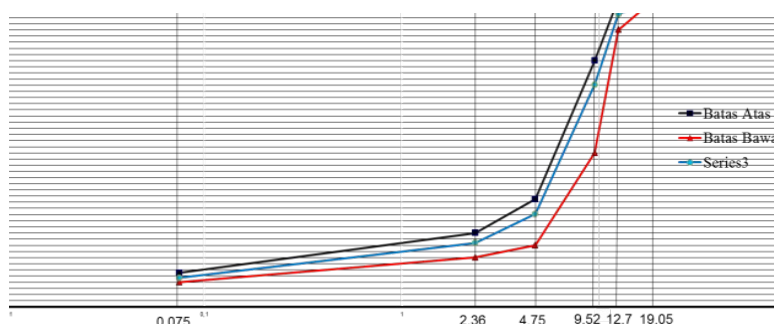
Tabel 8. Gradasi Rencana RAP 25%



Gambar 3. Gradasi Rencana RAP 25%

Tabel 9. Gradasi Rencana RAP 50%

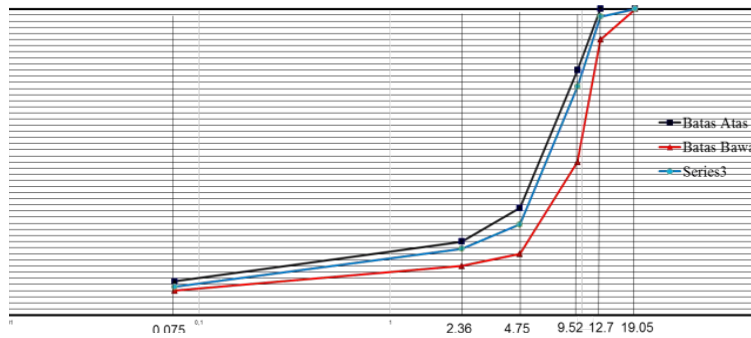
Saringan (mm)	Agregat Baru %	RAP %	% Lolos Saringan Kumulatif
19	50,00	50,00	100
12,5	45,05	50,00	95,05
9,5	33,63	38,53	72,17
4,75	15,64	14,52	30,16
2,36	9,56	11,23	20,79
0,075	4,97	4,48	9,44
0	0	0	0



Gambar 4. Gradasi Rencana RAP 50%

Tabel 10. Gradasi Rencana RAP 75%

Saringan (mm)	Agregat Baru %	RAP %	% Lolos Saringan Kumulatif
19	25,00	75,00	100
12,5	22,52	75,00	97,52
9,5	16,82	57,80	74,62
4,75	7,82	21,78	29,60
2,36	4,78	16,85	21,63
0,075	2,48	6,71	9,20
0	0	0	0



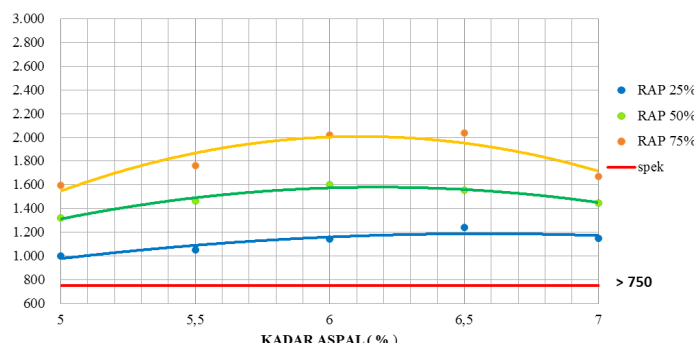
Gambar 5. Gradasi Rencana RAP 75%

4.2. Hasil Pengujian Marshall

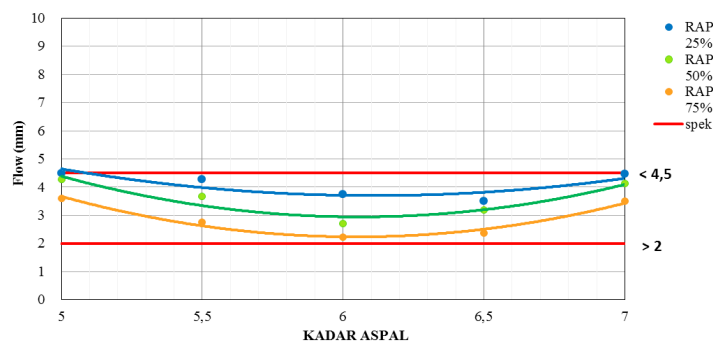
Pengujian marshall dilakukan untuk mengetahui kinerja campuran beraspal berdasarkan variasi lama perendaman dan variasi kadar arang tempurung kelapa yang ditambahkan, ditinjau dari beberapa karakteristik yaitu nilai stabilitas dan nilai *flow*. Hasil pengujian *marshall* dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 11. Hasil Pengujian *Marshall* terhadap RAP

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (Kg)			Flow (mm)			MQ (gr/cm ³)		
	25%	50%	75%	25%	50%	75%	25%	50%	75%
5	997,9	1321,2	1598,7	4,5	4,3	3,6	221,9	309,8	444,8
5,5	1052,7	1462,9	1760,6	4,3	3,7	2,8	247,2	397,9	762,2
6	1145,0	1599,3	2017,7	3,7	2,7	2,2	329,0	600,6	928,4
6,5	1242,0	1553,7	2038,9	3,5	3,2	2,4	363,1	488,4	941,2
7	1146,3	1449,0	1668,2	4,5	4,1	3,5	257,9	354,8	525,6



Gambar 6. Hasil Pengujian RAP terhadap Stabilitas



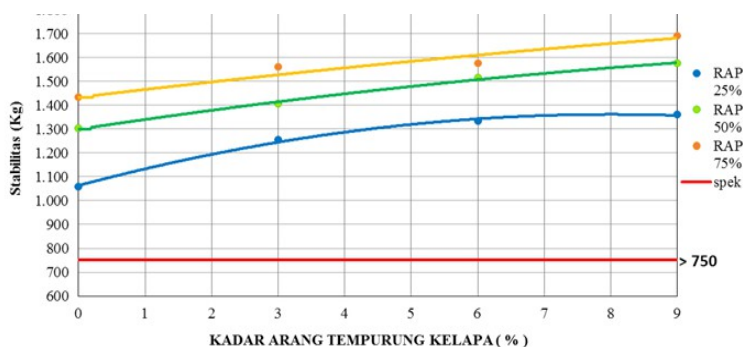
Adapun hasil pengujian marshall terhadap nilai VIM, VFA, VMA, *Stabilitas*, *Flow*, *Marshal Quotient* campuran RAP 25%, 50% dan 75% dengan tambahan agregat baru. Di dapatkan peningkatan nilai pada kadar aspal optimum pada setiap penambahan RAP 25%, 50% dan 75% dengan didapatkan kenaikan KAO sebesar 6,5% pada RAP 25%, pada RAP 50% didapatkan KAO sebesar 6,75% dan RAP 75% didapatkan KAO sebesar 6,825%. Untuk lebih jelas KAO yang di dapatkan dapat dilihat dari Tabel 4.9. Setelah di dapatkan KAO dilakukan pembuatan benda uji dari SMA + RAP dengan bahan tambah ATK dengan variasi 0%, 3%, 6% dan 9%.

Tabel 12. Kadar Optimum Aspal berdasarkan RAP

KAO (%)	<i>Split Mastic Asphalt + Reclaimed Asphalt Pavement</i>	
	SMA (%)	RAP (%)
6,5	75	25
6,75	50	50
6,825	25	75

Tabel 13. Stabilitas terhadap ATK

ATK (%)	Stabilitas (Kg)		
	25%	50%	75%
0	1060,06	1304,20	1434,91
3	1255,03	1407,80	1561,08
6	1332,75	1515,17	1576,88
9	1360,27	1576,43	1692,25



Gambar 8. Grafik pengaruh kadar ATK dalam aspal terhadap stabilitas pada berbagai variasi kadar RAP

Tabel 14. *Flow* terhadap ATK

ATK (%)	<i>Flow</i> (mm)		
	25%	50%	75%
0	3,50	3,47	3,33
3	3,47	3,43	3,23
6	3,67	3,50	3,43
9	4,20	3,90	3,80

4.3. Indeks Kekuatan Sisa (IKS)

IKS (Indeks Kekuatan Sisa) diperoleh melalui pengujian terhadap sifat mekanik benda uji yang diperoleh dari uji *marshall* (stabilitas dan *flow*). IKS yang disyaratkan oleh Bina Marga adalah minimum 90%.

Tabel 15. IKS terhadap ATK 25%, 50% dan 75%

KAO (%)	RAP (%)	ATK (%)	Stabilitas (Kg)		IKS (%)
			LAMA PERENDAMAN (JAM)		
			0,5	24	
6,5	25	0	1060,06	786,66	74,26
		3	1255,03	1000,39	79,79
		6	1332,75	1155,08	86,66
		9	1360,27	1248,71	91,83
6,75	50	0	1304,20	896,25	68,77
		3	1407,80	1080,66	76,79
		6	1515,17	1217,71	80,43
		9	1576,43	1295,06	82,17
6,825	75	0	1453,02	1041,34	72,25
		3	1561,08	1145,64	73,99
		6	1576,88	1317,86	83,54
		9	1669,66	1449,60	86,83

Adapun hasil yang didapatkan pada stabilitas sisa atau IKS cenderung terus meningkat di setiap kadar ATK dan setiap masing-masing kadar RAP, akan tetapi hanya di kadar ATK 9% dengan kadar RAP 25% yang berhasil memenuhi standar Spesifikasi Umum Bina Marga (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018) dengan nilai sebesar 91,83% yang dimana untuk standar yang sudah ditetapkan minimum 90% atau > 90%.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa semakin besar kadar RAP pada campuran, maka kebutuhan KAO akan semakin tinggi seiring bertambahnya dengan kadar RAP 25%, 50% dan 75% dengan diperoleh KAO sebesar 6,5%, 6,75% dan 6,825%.
2. Stabilitas pada campuran SMA berbasis RAP menunjukkan semakin meningkatnya nilai stabilitas seiring dengan bertambahnya kadar RAP 25%, 50% dan 75% dengan diperoleh nilai stabilitas sebesar 1060,06 kg, 1304,20 kg dan 1434,91 kg.
3. Dari hasil pengujian Karakteristik *Marshall* pada campuran SMA berbasis RAP dengan penambahan kadar aspal ATK, menunjukkan bahwa pada setiap penambahan kadar aspal ATK sebesar 3% secara berturut-turut akan mengalami peningkatan nilai satabilitas dengan diperoleh kenaikan nilai rata-rata sebesar 9% pada RAP 25%, 7% pada RAP 50% dan 6% pada RAP 75%.
4. Dari hasil yang diperoleh pada pengujian IKS disimpulkan bahwa bahan tambah ATK dapat meningkatkan nilai IKS sebagai indikator durabilitas campuran aspal.

5.2. Saran

Berdasarkan kesimpulan di atas dan pengalaman selama penelitian, berikut beberapa saran penulis yang dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan:

1. Pada pelapisan ulang untuk lapisan perkerasan jalan, penulis menyarankan menggunakan penambahan bahan RAP dikarenakan RAP telah teruji layak digunakan untuk campuran beraspal.
2. Untuk mendapatkan kualitas aspal terbaik pada gradasi SMA pada campuran aspal daur ulang atau RAP penulis merekomendasikan persentase 25% dengan penambahan kadar ATK sebesar 9% untuk aspal penetrasi 60/70.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM. 2013. Standard Test Method for Pour Point of Petroleum Products. *Manual on Hydrocarbon Analysis, 6th Edition*. United States.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018. Spesifikasi Umum 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan. *Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat*. Jakarta
- Mashuri, 2008. Pengaruh Penggunaan Serbuk Arang Kelapa dan Variasi Jumlah Tumbukan Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Beton. *Majalah Ilmiah (MEKTEK)*, 49–60. Jakarta
- Sukirman, Silvia. 2016. Beton Aspal Campuran Panas. Institut Teknologi Nasional, Bandung. 167 hlm.
- Sukirman, Silvia. 2003. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Nova, Bandung. 241 hlm.