

**PEMANFAATAN ASPAL DAUR ULANG UNTUK PEMBUATAN (ASPHALT CONCRETE-BINDER COURSE) AC-BC
BERDASARKAN SPESIFIKASI UMUM BINA MARGA 2018 DAN SPESIFIKASI KHUSUS BINA MARGA 2019
DENGAN MENGGUNAKAN FILLER ABU SEKAM PADI**

Yayank Mukti Santoso

Program Studi S1 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Yayank.20087@mhs.unesa.ac.id

Ir. Yogie Risdianto, S.T., M.T.

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

yogierisdianto@unesa.ac.id

Abstrak

Peningkatan jumlah pengguna kendaraan dapat berpeluang menimbulkan rusaknya lapisan perkerasan jalan yang terjadi akibat beban lalu lintas yang berlebihan atau biasa disebut *overload*. Maka dari itu diperlukannya infrastruktur jalan dan perencanaan lapis perkerasan yang berkualitas sesuai standar yang berlaku. Salah satu inovasi yang dapat dilakukan dalam rangka perbaikan terhadap kerusakan jalan adalah dengan memanfaatkan aspal daur ulang atau bisa disebut *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP).

Penelitian ini mempunyai tujuan untuk mengetahui pengaruh pemanfaatan aspal daur ulang untuk campuran agregat pada pembuatan (*Asphalt Concrete-Binder Course*) AC-BC dengan mengaplikasikan *filler* abu sekam berlandaskan spesifikasi Bina Marga 2018 dan spesifikasi interm Bina Marga 2019. Data yang dikumpulkan pada penelitian ini didapat melalui metode eksperimen di Laboratorium Jalan dan Transportasi Teknik Sipil Unesa. Tahap penelitian untuk pembuatan AC-BC dimulai dengan menyiapkan material dan alat pendukung lain, melakukan pemeriksaan material yang akan digunakan sesuai SNI, merencanakan *mix design*, menetapkan variasi kadar aspal yang digunakan dalam pembuatan benda uji yaitu 4,6%; 5,1%; 5,6%; 6,1%; dan 6,6% dan melakukan analisa parameter marshallnya untuk memperoleh kadar aspal optimum (KAO).

Hasil yang didapatkan pada penelitian ini diperoleh kadar aspal optimum (KAO) sebesar 5,6%. Analisa parameter marshall diperoleh antara lain : nilai VIM 9,72%, VMA 21,41%, VFA 54,58%, *Marshall Quotient* (MQ) 1009,26 kg/mm, stabilitas sebesar 1761,14 kg, serta kelelahan 2,23 mm. Berdasarkan parameter *marshall* yang didapatkan pada penelitian ini, sudah sesuai spesifikasi umum Bina Marga tahun 2018 dan spesifikasi khusus Bina Marga 2019 kecuali parameter marshall rongga dalam campuran (VIM) dan rongga terisi aspal (VFA).

Kata kunci : Aspal Daur ulang, *Asphalt Concrete – Binder Course*, *Filler*, Abu Sekam, Karakteristik Marshall

Abstract

An increase in the number of vehicle users has the opportunity to cause damage to road pavement layers that occur due to excessive traffic loads or "overload." As a result, there is a need for high-quality road infrastructure and pavement layering. One of the innovations that can make in repairing road damage is utilizing recycled asphalt, also known as reclaimed asphalt pavement (RAP).

This study aimed to determine the effect of using recycled asphalt as an aggregate mixed material in the manufacture of AC-BC (Asphalt Concrete-Binder Course) using husk ash as filler based on the 2018 Bina Marga Specifications and the 2019 Highways Special Specifications. The data collection in this study were obtained through experimental methods at the Unesa Civil Engineering Road and Transportation Laboratory. The stages of this research for the manufacture of AC-BC begin with preparing materials and othe supporting tools, inspecting materials to be used according to SNI, planning a mix design, determining variations in asphalt content used in the manufacture of test objects, namely 4.6%, 5.1%, 5.6%, 6.1%, and 6.6%, and analyzing the Marshall parameters to obtain the optimum asphalt content (KAO).

The results obtained in this study the optimum asphalt content (KAO) value of 5.6%. Furthermore, by analyzing parameter marshall VIM value is 9,72%, VMA 21.41%, VFA 54,58%, Marshall Quotient (MQ) 1009.26 kg/mm, the stability value is 1761.14 kg and the flow value is 2.23 mm. Based on the marshall parameters obtained in this study, it is in accordance with the general specifications of Bina Marga in 2018 and the special specifications for Bina Marga in 2019 except for the marshall parameters of voids in the mixture (VIM) and voids filled with asphalt (VFA).

PENDAHULUAN

Transportasi ialah salah satu elemen penting pada perkembangan suatu negara. Dalam hal ini, penyediaan transportasi darat dan infrastruktur jalan tol sangat diperlukan untuk mendukung kemajuan negara. Prasarana transportasi dalam hal ini jalan raya berperan sangat penting dalam bidang transportasi terutama dalam kelangsungan peredaran barang dan jasa (Hendarsin, 2000). Jenis perkerasan lalu lintas manapun, wajib bisa mengakomodir mobilitas penggunaan jalan yang berbeda – beda baik berupa layanan angkutan orang maupun layanan angkutan barang berupa semua komoditas yang diperbolehkan buat melewatinya (Saodang, 2005). Jalan memegang peranan yang sangat krusial pada kehidupan kita, sehingga pengembangan dan pemeliharanya perlu diperhatikan.

Salah satu inovasi yang dapat dilakukan dalam rangka perbaikan terhadap kerusakan jalan adalah dengan memanfaatkan aspal daur ulang atau biasa disebut *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP). Aspal daur ulang (ADU) adalah hasil *scraping* jalan aspal usang yang telah rusak serta sebagai limbah aspal beton. Pemanfaatan aspal daur ulang (RAP) yaitu dengan cara diproses ulang dengan bahan yang ditambahkan sebagai pengikat untuk membuat bahan perkerasan yang baru. (Wilis & Risdianto, 2018). Manfaat penggunaan aspal daur ulang antara lain menghemat sumber daya aspal dan agregat, menghemat energi, mengurangi biaya konstruksi dan siklus hidup, mencapai teknik rehabilitasi yang efektif dan menjaga lingkungan dari pembuangan bahan perkerasan lama yang tidak perlu (Al-Qadi et al., 2007)

Adapun agregat yang dipergunakan untuk bahan pengisi rongga pada campuran aspal beton yaitu *filler*. Alternatif lain yang bisa dikembangkan adalah dengan memanfaatkan *filler* yaitu abu sekam padi untuk campuran aspal beton. Sifat penyemaman dan gradasi butirannya memenuhi spesifikasi yang disyaratkan untuk bahan pengisi, salah satu bahan pembentuk campuran aspal.

Berdasarkan hal tersebut diatas, penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui pemanfaatan aspal daur ulang berlandaskan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 Divisi 6 dan Spesifikasi khusus Bina Marga tahun 2019.

METODE PENELITIAN

Berlandaskan spesifikasi umum Bina Marga 2018 serta spesifikasi khusus Bina Marga 2019, penelitian dilakukan

dengan menyelidiki pengaruh pemanfaatan aspal daur ulang untuk material campuran pembuatan (Asphalt Concrete-Binder Course) AC-BC dengan memakai *filler* abu sekam ditinjau terhadap karakteristik *marshall*.

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Jalan dan Transportasi Teknik Sipil Unesa. Adapun material yang digunakan antara lain agregat kasar, agregat halus, abu sekam dan aspal serta aspal daur ulang sebagai bahan campuran. Material agregat kasar dan agregat halus yang dipakai bersumber dari PT Persona Arnos beton di Damean Gresik. Penggunaan bahan abu sekam sebagai *filler* berasal dari Desa Sumbergandu, Kec. Pilangkenceng Kab. Madiun. Bitumen yang dipakai ialah aspal shell dengan penetrasi 60/70. Material aspal daur ulang untuk dipakai dalam penelitian ini berasal dari perbaikan jalan yang dilakukan di Jalan Raya Kertajaya Indah Kota Surabaya.

Persiapan material

Material yang digunakan dalam pembuatan benda uji harus sesuai dengan spesifikasi yang berlaku baik dari SNI, spesifikasi umum Bina Marga 2018 dan spesifikasi khusus Bina Marga 2019.

A. Agregat

Agregat yang digunakan pada campuran aspal beton harus dalam kondisi bebas dari kadar lumpur, kotoran atau bahan lain yang dapat mengurangi kualitas perkerasan jalan.

- 1) Agregat kasar yaitu agregat yang lolos ayakan 1” dan tertahan ayakan No. 4 dari batu pecah (Umum, 2018)
- 2) Agregat halus yaitu agregat yang lolos ayakan No. 4 dan tertahan ayakan No. 200, baik itu hasil pengayakan batu pecah atau pasir (Umum, 2018)

B. Aspal

Aspal adalah produk industri perminyakan yang disaring dari minyak mentah dan digunakan sebagai bahan perekat berwarna coklat tua hingga hitam yang berbahan dasar bitumen (Hardiyatmo, 2007). Aspal memiliki fungsi sebagai bahan pengikat, yang berarti pemberi ikatan antara aspal dengan material agregat lain dalam campuran pembuatan beton aspal. Selain itu aspal dapat mengisi rongga dalam agregat dan mengisi celah antar butir agregat.

C. Abu sekam sebagai bahan pengisi (*Filler*)

filler ialah salah satu elemen penting pada proses pembuatan campuran beton aspal. Bahan yang memenuhi spesifikasi disebut bahan pengisi dan harus paling sedikit 75%

dari berat total untuk lolos ayakan No. 200 (Sukirman, 2003). Fungsi dari bahan pengisi (*filler*), ialah dapat mengisi ruang antara agregat kasa dan agregat halus sehingga dapat meningkatkan kepadatan dalam campuran aspal beton.

Abu sekam merupakan output dari proses pembakaran sekam padi yang mengandung senyawa kimia yaitu silika (SiO₂) (Ilmiah, 2017).

D. Aspal daur ulang (RAP)

Reclaimed asphalt pavement (RAP) merupakan suatu model perkerasan aspal yang didaur ulang dengan cara mengikis permukaan jalan aspal beton yang telah rusak sebagai langkah untuk memperolehnya. Lazimnya material RAP diperoleh dari timbunan yang mungkin memiliki sifat yang berbeda, karena material RAP didapat berasal dari hasil pengikisan beberapa jalan (Ningrum & Risdianto, 2018). *Reclaimed asphalt pavement* (RAP) ialah menggunakan material dari jalan aspal reklamasi yang sudah rusak dan menggunakannya kembali sebagai campuran aspal baru untuk perbaikan perkerasan (Milati & Risdianto, 2020). Sebelum digunakan, aspal daur ulang (RAP) terlebih dahulu di ekstraksi guna mendapatkan berapa kadar aspal yang terkandung pada material tersebut.

Perencanaan campuran aspal beton

Perencanaan campuran aspal beton merupakan sebuah perencanaan bahan atau material dengan tujuan untuk menetapkan satu penggabungan gradasi agregat dan aspal agar dapat menghasilkan kualitas yang baik sesuai dengan spesifikasi yang ada. Berikut spesifikasi gradasi campuran AC-BC dan parameter marshallnya.

Tabel 1. Spesifikasi gradasi agregat gabungan

Aayakan Ukuran		Spesifikasi AC-BC
ASTM	mm	
1"	25	100
3/4"	19	90 – 100
1/2"	12,5	75 – 90
3/8"	9,5	66 – 82
No 4	4,75	46 – 64
No 8	2,36	30 – 49
No 16	1,18	18 – 38
No 30	0,600	12 – 28
No 50	0,300	7 – 20
No 100	0,150	5 – 13
No 200	0,075	4 – 8

(Sumber : Spesifikasi umum Bina Marga 2018)

Tabel 2. Parameter Marshall untuk laston AC-BC

Sifat-sifat campuran	Laston AC-BC		
		Spesifikasi umum 2018	Spesifikasi khusus 2019
Stabilitas (Kg)	Min	800	1000
Kelelahan (<i>flow</i>) (mm)	Min	2	2
	Maks	4	4
Rongga dalam campuran (<i>VIM</i>) (%)	Min	3	3
	Maks	5	5
Rongga dalam mineral agregat (<i>VMA</i>) (%)	Min	14	13
Rongga terisi aspal (<i>VFA</i>) (%)	Min	65	65
Marshall Quotient (<i>MQ</i>) (kg/mm)	Min	250	250

(Sumber : Spesifikasi umum Bina Marga 2018 dan spesifikasi khusus interm 2019)

Perencanaan campuran aspal beton yang baik agar menghasilkan mutu berkualitas dibutuhkan prosedur yang tepat seperti :

1. Pemilihan gradasi agregat

Ukuran rongga atau pori dalam campuran beton aspal ditentukan oleh gradasi agregat.

2. Penentuan variasi kadar aspal

Menentukan perkiraan variasi kadar aspal awal dapat dicari dengan rumus berikut :

$$P_b = 0,035 (\%C) + 0,045 (\%F) + 0,18 (\%Fill) + K$$

Keterangan :

P_b = kadar aspal ideal;

C = % agregat tertahan ayakan No.4;

F = % a gregat lolos saringan No. 4 dan tertahan No. 200;

$Fill$ = % a gregat lolos saringan No.200;

K = nilai konstanta (0,5 – 1,0).

Pembuatan benda uji

Proses pembuatan benda uji antara lain :

1. Timbang masing – masing material yang akan dipakai untuk campuran aspal beton sesuai perencanaan yang sudah didesain.

2. Agregat melalui proses pemanasan terlebih dahulu dengan panci (wajan) sampai mencapai suhu 150° C . Saat waktu yang sama, cairkan aspal padat sampai mencair sehingga dapat dituangkan. Ketika suhu agregat sudah mencapai 150° C, campur agregat dengan aspal dan aduk cepat hingga agregat terlapisi oleh aspal secara merata.

3. Siapkan *molding* (cetakan) dan perlengkapannya. Tuang seluruh campuran beton aspal ke dalam *molding*. Pemasakan dilakukan dengan alat penumbuk sejumlah 75 kali tumbukan per sisi dan didinginkan di bawah kondisi ruangan setelahnya.
4. Lepas benda uji dari cetakan dan timbang untuk memperoleh berat kering spesimen
5. Rendam sampel pada suhu ruang dalam 24 jam. Timbang benda uji di dalam air untuk mencari berat speimen dalam air dan berat kering permukaan (SSD) dengan cara mengeringkan permukaan benda uji dengan kain setelah perendaman benda uji selesai 24 jam.
6. Rendam benda uji pada penangas air panas (*Water Bath*) di suhu 60° C dalam 30 menit.
7. Angkat benda uji pada *water bath* setelah 30 menit perendaman, uji tes marshall segera untuk memperoleh bacaan stabilitas dan *flow*.



Gambar 1. Material Aspal Daur ulang



Gambar 2. Proses pencampuran agregat dengan aspal



Gambar 3. Proses pemadatan dengan alat penumbuk



Gambar 4. Hasil dari proses pemadatan



Gambar 5. Perendaman benda uji pada *water bath*



Gambar 6. Pengujian dengan alat marshall

Parameter marshall

Pengujian metode marshall merupakan langkah untuk memperoleh karakteristik campuran aspal beton. Parameter marshall yang akan diperoleh adalah sebagai berikut :

a. Stabilitas

Stabilitas ialah kapabilitas jalan dalam menyerap beban diatasnya baik itu perkerasan lentur maupun kaku tanpa transformasi yang permanen seperti gelombang dan alur

(Sukirman, 2003). Angka nilai stabilitas yang diuji didapat melalui pembacaan dial stabilitas selama pengujian marshall. Besarnya angka stabilitas bisa didapatkan menggunakan rumus berikut:

$$S = P \times q$$

Keterangan :

S = angka stabilitas sesungguhnya

P = pembacaan dial stabilitas x kalibrasi alat

q = angka koreksi benda uji

b. Kelelahan (*flow*)

Kelelahan merupakan deformasi vertikal pada lapisan jalan akibat menahan beban yang diberikan. Nilai angka kelelahan (*flow*) bisa diketahui langsung saat pengujian *marshall* pada dial *flowmeter*.

c. Rongga dalam campuran (*Void in Mixture*)

VIM merupakan *void* di antara butiran agregat yang telah diselimuti aspal. Nilai VIM berupa persentase terhadap volume beton aspal padat (Sukirman, 2003). VIM dapat dihitung menggunakan rumus seperti berikut:

$$VIM = 100 \times \frac{Gmm - Gmb}{Gmm}$$

Keterangan:

VIM = pori berisi udara dalam campuran (%);

Gmm = berat jenis maksimum (gr/cm³);

Gmb = berat jenis campuran padat (gr/cm³).

d. Rongga dalam mineral agregat (VMA)

VMA ialah jumlah *void* antar partikel agregat dalam beton aspal padat, yang dinyatakan dalam persentase (Sukirman, 2003). VMA diperoleh dengan rumus sebagai berikut:

$$VMA = 100 - \frac{Gmb \times Ps}{Gsb}$$

Keterangan:

VMA = pori dalam mineral agregat (%);

Gsb = berat jenis curah kering agregat (gr/cm³);

Gmb = berat jenis campuran padat (gr/cm³);

Ps = persen agregat terhadap berat total campuran (%)

e. Rongga terisi aspal (*Void Filled by Asphalt*)

VFA merupakan volume rongga antara agregat beton aspal yang terserap dengan aspal, juga dikenal sebagai selimut aspal (Sukirman, 2003). Nilai rongga yang terisi aspal dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

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

Keterangan:

VFA = pori terisi aspal (%);

VMA = rongga dalam mineral agregat (%);

VIM = rongga dalam campuran (%).

f. Marshall Quotient (MQ)

Nilai marshall quotient adalah perbandingan dari angka stabilitas dan angka *flow* (kelehan) yang bisa diketahui langsung pada dial *flowmeter*. Angka nilai marshall quotient bisa didapatkan dengan rumus berikut :

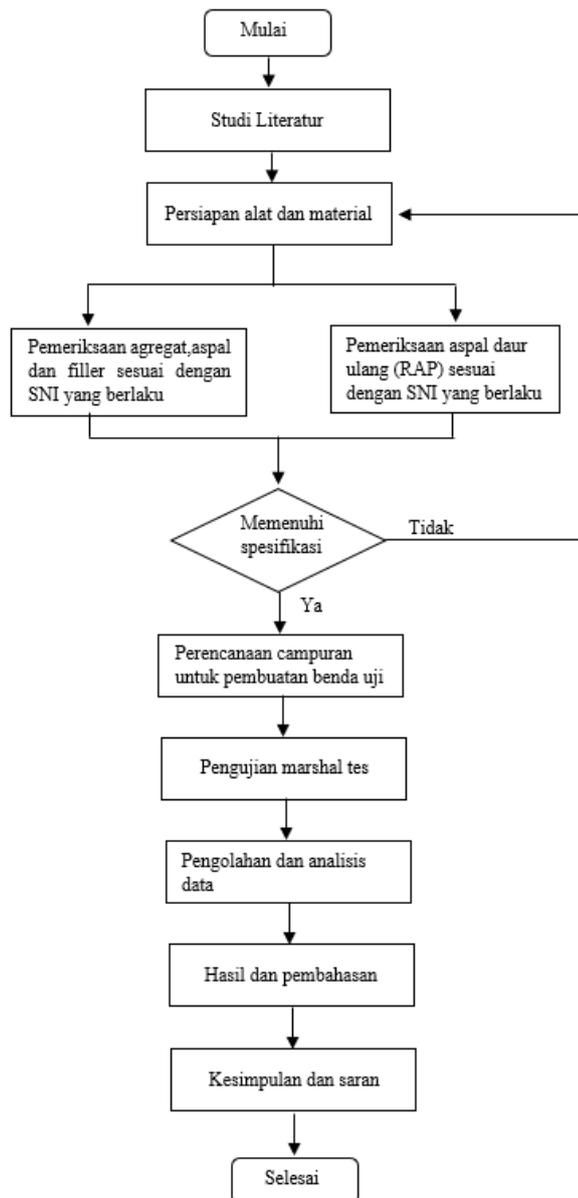
$$MQ = \frac{S}{Flow}$$

Keterangan:

MQ = nilai Marshall quotient (kg/mm);

S = Nilai stabilitas (kg);

flow = Pembacaan dial flow (mm).



Gambar 7. Flowchart Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian agregat

Pengujian agregat meliputi: pemeriksaan analisis ayakan, berat jenis curah kering, berat jenis semu dan penyerapan air.

Pengujian ini berpedoman dengan SNI 1969 - 2016 & SNI 1970 – 2016. Hasil pemeriksaan pengujian agregat dilampirkan pada Tabel 1.

Tabel 3. Hasil pemeriksaan agregat

No	Karakteristik	Hasil	Satuan	Spesifikasi
1	Berat Jenis Curah kering	2,682	gram/cm ³	Min 1,0
2	Berat Jenis Semu	2,791	gram/cm ³	60-70
3	Penyerapan Air	1,45	%	Min 100

(Sumber : Data hasil penelitian)

Kesimpulan yang didapat pada tabel 3 bahwa agregat telah memenuhi spesifikasi sesuai standar yang berlaku.

Hasil Pengujian Aspal

Bitumen yang dipakai di penelitian ini menggunakan aspal pen 60/70 ex.shell. Aspal pen 60/70 dilakukan pengujian antara lain pemeriksaan berat jenis aspal, penetrasi, serta daktilitas. Pengujian ini berpedoman dengan SNI 2441:2011 untuk berat jenis aspal, SNI 2456:2011 untuk penetrasi, SNI 2432:2011 untuk daktilitas. Hasil pengujian aspal dilampirkan pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil pemeriksaan aspal

No	Pengujian	Hasil	Satuan	Spesifikasi
1	Berat Jenis Aspal	1,034	gram/cm ³	Min 1,0
2	Penetrasi	68	mm	60-70
3	Daktilitas	108	cm	Min 100

(Sumber : Data hasil penelitian)

Hasil pemeriksaan aspal pen. 60/70 telah memenuhi spesifikasi sesuai SNI yang berlaku seperti pada tabel 2.

Hasil pengujian filler abu sekam

Pemeriksaan abu sekam padi sebagai *filler* dilakukan dengan pengujian : pemeriksaan berat jenis dan analisa ayakan. Pengujian ini berpedoman dengan SNI 03-2531-1991. Syarat penggunaan *filler* sesuai dengan spesifikasi umum Bina Marga 2018 untuk campuran aspal beton minimal 75% lolos saringan no #200. Syarat filler minimal 75% lolos ayakan no #200 diperlukan supaya material *filler* yang digunakan dapat mengisi rongga antara agregat kasar dan agregat halus sehingga dapat meningkatkan kepadatan campuran aspal beton. Hasil pengujian abu sekam sebagai *filler* dilampirkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil pemeriksaan *filler* abu sekam

No	Pengujian	Hasil	Satuan	Spesifikasi
1	Berat Jenis	2,123	gram/cm ³	-
2	Lolos saringan no #200	68	%	Min 75%

(Sumber : Data hasil penelitian)

Hasil pemeriksaan aspal daur ulang (RAP)

Pemeriksaan terhadap material aspal daur ulang (RAP) berupa pengujian berat jenis curah kering, berat jenis semu, penyerapan serta ekstraksi. Pengujian ekstraksi diperlukan untuk mendapatkan persentase kadar aspal agregat pada aspal daur ulang yang akan dipergunakan pada campuran aspal beton. Pengujian ini berpedoman dengan SNI 1969 - 2016 & SNI 1970 – 2016 serta Spesifikasi Khusus Interm Bina Marga 2019. Hasil pemeriksaan aspal daur ulang dilampirkan pada tabel 6.

Tabel 6. Hasil pemeriksaan aspal daur ulang

No	Pengujian	Hasil	Satuan	Spesifikasi
1	Berat Jenis Curah Kering	2,596	gram/cm ³	Min 2,5
2	Berat Jenis Semu	2,716	gram/cm ³	Min 2,7
3	Penyerapan Air	2,93	%	Maks 3
4	Ekstraksi RAP	4,15	%	Min 2,8

(Sumber : Data hasil penelitian)

Tabel 6 menunjukkan aspal daur ulang memenuhi spesifikasi sesuai standar yang berlaku untuk dijadikan material dalam campuran aspal beton.

Hasil Pemeriksaan Gradasi

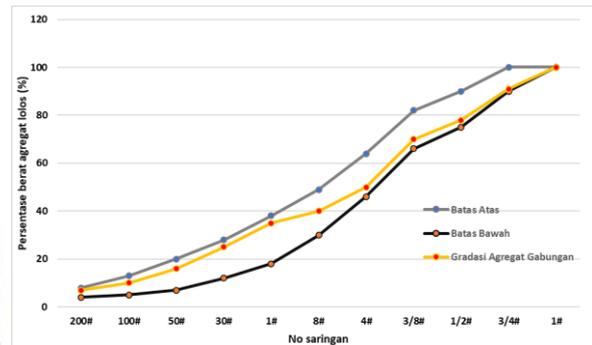
Pemeriksaan gradasi gabungan dibutuhkan untuk menentukan kombinasi gabungan agregat AC-BC dan Aspal daur ulang agar sesuai dengan spesifikasi umum Bina Marga 2018 serta spesifikasi khusus interm Bina Marga 2019. Melalui tahap *trial and error*, didapatkan penggunaan aspal daur ulang yang digunakan sebesar 25% dari total berat agregat.

Tabel 7. Hasil pemeriksaan gradasi gabungan

Ayakan Ukuran		Gradasi gabungan agregat	Spesifikasi AC-BC
ASTM	mm		
1"	25	100	100
3/4"	19	91	90 – 100
1/2"	12,5	78	75 – 90

3/8"	9,5	70	66 – 82
No 4	4,75	50	46 – 64
No 8	2,36	40	30 – 49
No 16	1,18	35	18 – 38
No 30	0,600	25	12 – 28
No 50	0,300	16	7 – 20
No 100	0,150	10	5 – 13
No 200	0,075	7	4 – 8

(Sumber : Data hasil penelitian)

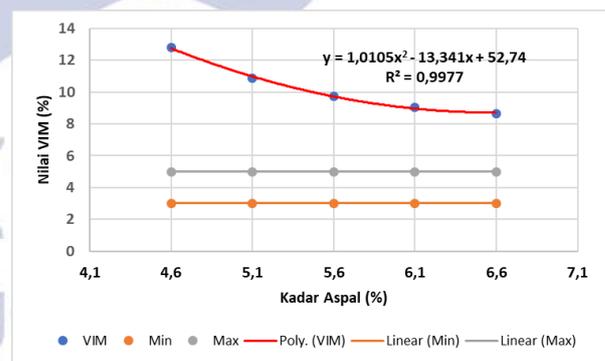


Gambar 8. Grafik gradasi agregat gabungan untuk benda uji (Sumber : Data hasil penelitian)

Hasil Pengujian Marshall

Variasi kadar aspal yang digunakan yaitu 4,6%, 5,1%, 5,6%, 6,1%, 6,6%. Pengujian dilakukan dengan metode marshall pada benda uji. Berikut hasil parameter – parameter dalam pengujian marshall.

1. Rongga dalam campuran (VIM)

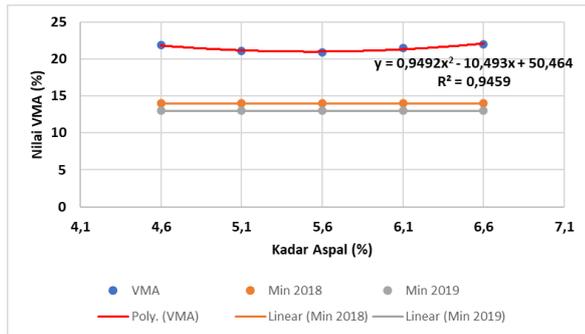


Gambar 9. Grafik nilai VIM (Sumber : Data hasil penelitian)

Grafik gambar 9 menampilkan nilai VIM belum terpenuhi pada rentang nilai minimal 3 dan maksimal 5 sesuai spesifikasi Bina Marga 2018 dan Spesifikasi khusus interm 2019. Hasil pengujian yang dilakukan didapat nilai VIM tertinggi adalah 12,80% di kadar aspal 4,6% dan terendah diangka 8,65% pada kadar aspal 6,6%. Nilai VIM tidak memenuhi spesifikasi dapat terjadi akibat pada proses pemadatan kurang maksimal, sehingga pori udara yang tercipta lebih banyak. VIM ini dibutuhkan untuk tempat

bergesernya butir butir agregat akibat pemadatan tambahan yang terjadi oleh repetisi beban lalu lintas, atau tempat jika aspal meleleh menjadi lunak akibat meningkatnya suhu udara. VIM yang terlalu besar akan mengakibatkan beton aspal padat berkurang kekedapannya, sehingga oksidasi aspal meningkat yang dapat mempercepat penuaan aspal dan menurunkan sifat durabilitas beton aspal. VIM yang terlalu kecil akan mengakibatkan perkerasan mengalami *bleeding* ketika suhu meningkat.

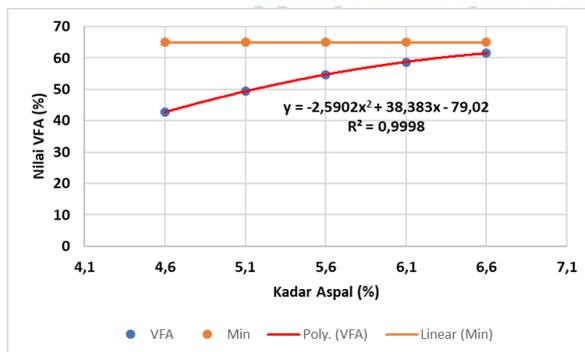
2. Rongga dalam mineral agregat (VMA)



Gambar 10. Grafik nilai VMA
(Sumber : Data hasil penelitian)

Grafik gambar 10, menunjukkan nilai Rongga dalam mineral agregat (VMA) sudah memenuhi spesifikasi yang berlaku dengan persyaratan nilai minimal 14 untuk spesifikasi umum Bina Marga 2018 serta nilai minimal 13 untuk spesifikasi khusus interm 2019. Hasil pengujian diperoleh nilai VMA tertinggi adalah 22,48% pada kadar aspal 6,6% dan terendah diangka 21,41% dikadar aspal 5,6%. Nilai VMA cenderung menurun sampai kadar aspal 5,6% dan mengalami peningkatan di kadar aspal 6,1%. Nilai VMA berpengaruh terhadap *durability* aspal beton. VMA yang tinggi dapat mengisi rongga udara yang kosong dengan lelehnya aspal, sehingga membuat beton aspal menjadi padat dan tahan lama.

3. Rongga terisi aspal (VFA)

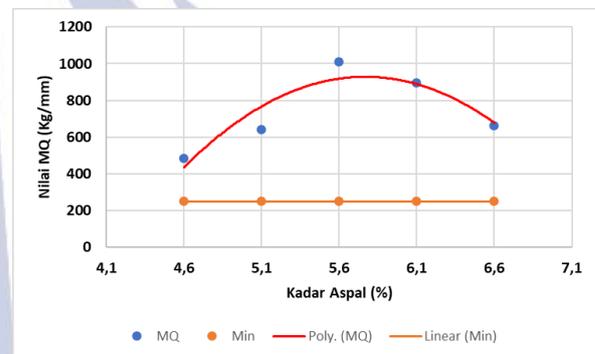


Gambar 11. Grafik nilai VFA
(Sumber : Data hasil penelitian)

Grafik gambar 11 menunjukkan nilai Rongga terisi aspal (VFA) tidak memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 dan Spesifikasi khusus interm 2019 dengan persyaratan nilai

minimal 65%. Hasil pengujian diperoleh nilai VFA tertinggi adalah 61,50% pada kadar aspal 6,6% dan terendah diangka 42,67% dikadar aspal 4,6%. Walaupun tidak memenuhi spesifikasi yang berlaku, dapat dilihat pada grafik nilai VFA semakin meningkat seiring dengan pertambahan jumlah kadar aspal. Nilai VFA berpengaruh pada sifat kekedapan campuran terhadap air dan udara serta sifat elastisitas. Semakin tinggi nilai VFA berarti semakin banyak rongga dalam campuran yang terisi aspal sehingga kekedapan campuran terhadap air dan udara juga semakin tinggi. Nilai VFA yang terlalu kecil akan menyebabkan campuran kurang kedap terhadap air dan udara sehingga akan mudah retak bila menerima beban.

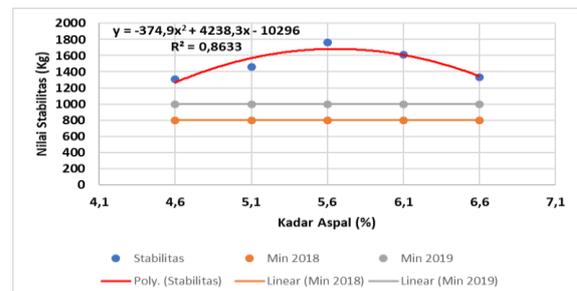
4. Marshall Quotient (MQ)



Gambar 12. Grafik nilai MQ
(Sumber : Data hasil penelitian)

Grafik gambar 12 menunjukkan nilai *Marshall Quotient* sudah sesuai dengan persyaratan yaitu minimal 250 kg/mm. Hasil pengujian diperoleh nilai angka *Marshall Quotient* tertinggi adalah 1009,26 kg/mm dikadar aspal 5,6% dan terendah dengan nilai angka 482,48 kg/mm dikadar aspal 4,6%. Nilai MQ akan menjelaskan tinggi rendah nya kekakuan serta fleksibilitas campuran aspal beton. Semakin besar nilai MQ berarti campuran semai kn kaku, sebaliknya jika semakin kecil nilainya maka mengakibatkan perkerasan mudah berubah bentuk.

5. Stabilitas

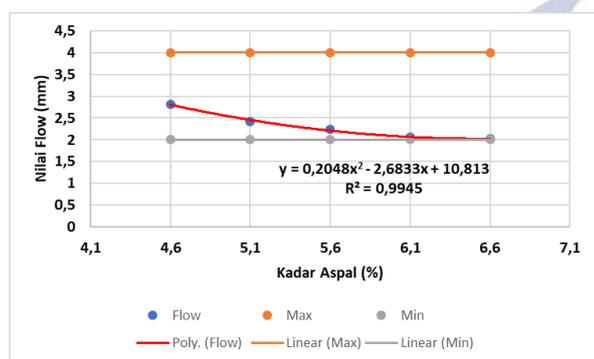


Gambar 13. Grafik nilai stabilitas
(Sumber : Data hasil penelitian)

Grafik gambar 13 menampilkan nilai stabilitas sudah memenuhi persyaratan stabilitas pada benda uji yaitu minimal

800 kg untuk spesifikasi umum Bina Marga 2018 dan 1000 kg untuk spesifikasi khusus interm 2019. Hasil pengujian diperoleh nilai stabilitas paling tinggi di kadar aspal 5,6 % didapat nilai 1761,14 kg dan nilai stabilitas paling rendah di kadar aspal 4,6% didapat nilai 1308,27 kg. Berdasarkan grafik dapat dilihat nilai stabilitas mengalami peningkatan sampai pada puncak di posisi 5,6% kadar aspal, setelah itu nilai stabilitas cenderung menurun di kadar aspal 6,1% dan 6,6%. Nilai stabilitas yang tinggi menunjukkan bahwa aspal beton tersebut mampu memenuhi kemampuan jalan dalam menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk perkerasan.

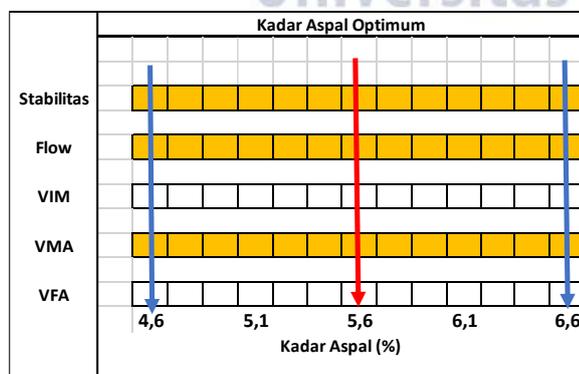
6. Kelelahan (Flow)



Gambar 14. Grafik nilai *flow*
(Sumber : Data hasil penelitian)

Grafik gambar 14 menunjukkan nilai kelelahan (*flow*) sudah memenuhi syarat nilai kelelahan (*flow*) yaitu dengan rentang 2-4 mm. Hasil pengujian dengan alat marshall diperoleh angka *flow* paling yaitu 2,82 mm di 4,6% kadar aspal dan nilai *flow* terendah yang didapat 2,02 mm 6,6% kadar aspal. Diamati pada grafik, setiap penambahan variasi kadar aspal akan berdampak pada angka *flow* yang ikut mengalami penurunan. Nilai *flow* berpengaruh terhadap elastistas jalan aspal beton sehingga dapat menahan dan menyebarkan beban kendaraan hingga merata.

7. Kadar Aspal Optimum (KAO)



Gambar 15. Grafik Kadar Aspal Optimum (KAO)
(Sumber : Data hasil penelitian)

Kadar aspal optimum (KAO) dapat ditetapkan dari hasil pengujian benda uji terhadap parameter marshallnya antara lain: stabilitas, kelelahan, VIM, VMA, VFA. Benda uji dibuat menggunakan campuran agregat 25% aspal daur ulang, *filler* abu sekam dan aspal pen 60/70 pada variasi 4,6%, 5,1%, 5,6%, 6,1%, 6,6% kadar aspal. Kadar aspal optimum adalah kadar aspal tengah-tengah dari rentang kadar aspal yang memenuhi persyaratan pada grafik hubungan antara kadar aspal dengan parameter *marshall*. Kadar aspal optimum juga dapat ditentukan berdasarkan nilai stabilitas paling baik diantara 6 variasi kadar aspal yang digunakan. Berdasarkan hasil pengujian yang ditinjau pada nilai stabilitas paling tinggi serta parameter *marshall*nya, didapat bahwa kadar aspal optimum (KAO) yang dihasilkan yaitu 5,6% dengan nilai stabilitas paling tinggi yaitu 1761,14 kg. Hasil yang didapat dari pengujian untuk parameter marshall sudah sesuai spesifikasi umum Bina Marga 2018 serta spesifikasi khusus interm Bina Marga 2019 kecuali VIM dan VFA. Walaupun parameter VIM dan VFA tidak memenuhi spesifikasi, penentuan kadar aspal optimum (KAO) masih boleh dilakukan dengan menggunakan parameter lain.

PENUTUP

Simpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian yang sudah dijalankan adalah sebagai berikut :

1. Hasil pengujian agregat, abu sekam sebagai bahan pengisi (*filler*), aspal dan agregat aspal daur ulang telah memenuhi spesifikasi SNI yang berlaku dan dapat digunakan untuk campuran pembuatan benda uji aspal beton.
2. Kadar aspal optimum yang diperoleh pada penelitian ini dengan menggunakan agregat aspal daur ulang 25% didapat 5,6% kadar aspal.
3. Diperoleh kadar aspal optimum (KAO) dengan nilai 5,6% dan perolehan parameter marshallnya antara lain : nilai VIM 9,72%, VMA 21,41%, VFA 54,58%, *Marshall Quotient* (MQ) 1009,26 kg/mm, stabilitas sebesar 1761,14 kg, serta kelelahan sebesar 2,23 mm.
4. Parameter *marshall* VFA tidak memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 dapat terjadi karena pada saat proses pemanasan agregat, bitumen dari material agregat aspal daur ulang masih melekat banyak pada agregat sehingga rongga antar agregat tidak terisi aspal secara maksimal yang berdampak pada nilai VFA tidak memenuhi persyaratan Bina Marga 2018.

Saran

Saran yang bisa disampaikan penulis sesudah melakukan penelitian ini adalah :

1. Dibutuhkan penelitian selanjutnya tentang sifat bitumen yang terdapat pada agregat aspal daur ulang untuk campuran aspal beton.
2. Dibutuhkan penelitian lain untuk variasi persentase penggunaan aspal daur ulang dan variasi persentase penggunaan *filler* abu sekam sebagai perbandingan untuk ditinjau dari karakteristik *marshall*.
3. Dalam proses mencampur agregat panas dan aspal cair, perhatian harus diberikan untuk memastikan campurannya homogen.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Qadi, I. L., Elseifi, M., & Carpenter, S. H. (2007). Reclaimed asphalt pavement - A literature review - Report No. FHWA-ICT-07-001. *Federal Highway Administration (FHWA)*, 07, 1–25.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2019). Spesifikasi Khusus Interm 2019.
- Hardiyatmo, H. C. (2015). *Pemeliharaan Jalan Raya*. Gadjah Mada University Press.
- Hendarsin, Shirley L. (2000). *Penuntun Praktis Perencanaan Teknik Jalan Raya*
- Ilmiah, R. (2017). Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi Sebagai Pozzolan Pada Binder Geopolimer Menggunakan Alkali Aktivator Sodium Silikat (Na_2SiO_3) Serta Sodium Hidroksida (Naoh). 195.
- Milati, A., & Risdianto, Y. (2020). Pemanfaatan Aspal Daur Ulang untuk Pembuatan Laston AC-BC Baru Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 dan spesifikasi khusus 2019. *Rekayasa Teknik Sipil, vol 2 no 3*.
- Ningrum, A. A., & Risdianto, Y. (2018). 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. *Rekayasa Teknik Sipil, 2(2)*, 1–7. <https://jurnalmahasiswa.unesa.ac.id/index.php/rekayasa-teknik-sipil/article/view/24895/22803>
- Retno W, A., & Risdianto, Y. (2018). Pengaruh Penambahan Reclaimed Asphalt Pavement (Rap) Dan Lawele Granular Asphalt (Lga) Sebagai Bahan Substitusi Agregat Pada Campuran Beton Aspal Wearing Course (Ac-Wc) Dengan Fly Ash Sebagai Filler. *Rekayasa Teknik Sipil, 2(2/REKAT/18)*, 1–6.
- RSNI M-06-2004. (2004). Cara uji campuran beraspal panas untuk ukuran agregat maksimum dari 25,4 mm(1inci) sampai dengan 38 mm(1,5 inci) dengan alat marsahl. Badan Standarasi Nasional
- Saodang, H. (2005). *Perancangan Perkerasan Jalan Raya*.
- Sukirman, S. 2003. (2003). Beton Aspal Campuran Panas. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9).
- Umum, S. (2018). Spesifikasi umum 2018. Divisi 6 Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.