

# **Pemakaian Limbah Aspal sebagai Substitusi Agregat pada Campuran Aspal Porus**

**Ayu Deanita Putri**

Program Studi S-1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

E-mail: deanita02@gmail.com

**Yogie Risdianto., S.T., M.T.**

Dosen Teknik Sipil, Universitas Negeri Surabaya

E-mail: risdi75@yahoo.com

## **Abstrak**

*Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) adalah limbah aspal yang didapat dari pengerukan perkerasan jalan, RAP sendiri jarang dimanfaatkan dan menumpuk di suatu tempat yang mengganggu lingkungan sekitarnya. Dari penjelasan tersebut muncul suatu inovasi dengan memanfaatkan limbah aspal sebagai substitusi agregat pada campuran aspal porus. Sehingga dengan memanfaatkan limbah aspal sebagai substitusi agregat, diharapkan menghasilkan perpaduan yang baik.

Penelitian sebelumnya mengungkapkan bahwa RAP ketika dirancang dengan baik dapat memiliki kinerja yang lebih baik atau serupa dengan campuran aspal panas. Dengan demikian, dalam penelitian ini penggunaan RAP sebagai agregat pada campuran aspal porus diharapkan bisa menghasilkan campuran yang baik.

Dalam penelitian ini dilakukan analisa saringan untuk menentukan komposisi agregat dengan spesifikasi AAPA (2004). Didapat komposisi campuran agregat tiap-tiap fraksi 45% (10-15mm), 40% (RAP 5-10mm), 11% (0-5 mm), dan filler 4%. Pengujian dilakukan dengan menggunakan metode *marshall* dan permeabilitas untuk mengetahui karakteristik campuran. Hasil penelitian menunjukkan dengan penggunaan RAP didapat stabilitas 654.50 kg, *flow* 3.3 mm, dan permeabilitas 0.15 cm/dt. Hasil pengujian menunjukkan bahwa campuran aspal porus dengan RAP memberikan hasil yang baik pada stabilitas, *flow*, dan permeabilitas, dan hasil tersebut memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan oleh AAPA (2004).

**Kata Kunci: Karakteristik Marshall, Permeabilitas, Reclaimed Asphalt Pavement (RAP), Aspal Porus**

## **Abstract**

*Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) is a waste obtained from dredging asphalt pavement, RAP is rarely used and piled up somewhere, RAP cumulation can disrupt the surrounding environment. At the same time, the growing importance of environmental and economic matters has led reserchers and engineers to promote reusing milled materials rather than using valuable and nonrenewable natural resources (bitumen and aggregates).*

*Recently, we revealed that when properly designed, RAP can have better or similiar performance to those of new conventional hot mix asphalt mixtures. Thus, in this study, the use of RAP as aggregate in porous asphalt was evaluated with the hope of using RAP as aggregate in porous asphalt mixture could produce a good mixture.*

*In this study has been carried out sieve analysis to specify the aggregate composition with the AAPA (2004) specifications. The results showed the composition of the aggregate mixture in each fraction required 45% (10-15 mm); 40% (RAP 5-10mm); 11% (0-5mm), and 4% (filler). Various performance tests such as marshall and permeability test has been carried out to discover characteristics of porous asphalt mixture with RAP. The results showed with the use of RAP in porous asphalt mixture obtained stability 654.50 kg, flow 3.3 mm, and permeability 0.15 cm/dt. The laboratory results indicate that the porous asphalt mixture with RAP provide better performance in terms of stability, flow, and permeability, also these research results fulfill the specifications by AAPA (2004).*

**Keywords: Marshall Characteristic, Permeability, Reclaimed Asphalt Pavement (RAP), Porous Asphalt**

## PENDAHULUAN

Proyek konstruksi jalan tidak mungkin jika tidak menghasilkan limbah, sekitar 1-10% dari material yang dipakai dalam proyek konstruksi akan menjadi limbah dan umumnya 50-80% dari limbah tersebut masih bisa digunakan kembali (Heri S, 2009). Salah satu proyek konstruksi jalan adalah perbaikan jalan yang rusak, perbaikan jalan yang rusak dapat dilakukan dengan pengupasan perkerasan lama, yang kemudian dilapisi dengan perkerasan baru.

Limbah aspal atau *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) merupakan hasil dari pengupasan perkerasan lama yang dapat dilaksanakan dengan *cold milling machine* (mesin pengusa perkerasan beraspal tanpa pemanasan), atau dengan cara manual yaitu menggunakan seperangkat alat berupa *asphalt cutter*, *jack hammer*, dan alat lainnya yang mendukung.

Ilmu pengetahuan dan teknologi yang telah berkembang di bidang teknik sipil, menjadikan limbah aspal yang dapat dimanfaatkan kembali sebagai bahan campuran perkerasan jalan (Nicholls, 1989). *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) berpotensi sebagai substitusi aspal dan agregat dalam perkerasan jalan dan bahu jalan sehingga dapat menghemat sumber daya alam dan memperlambat laju kerusakan alam akibat penambangan (Hassan, 2009).

Terdapat beberapa referensi tentang pemanfaatan RAP, salah satunya adalah dengan memanfaatkan RAP sebagai agregat pada campuran aspal porus. Campuran aspal porus cocok dikembangkan di negara beriklim tropis seperti Indonesia, karena aspal porus (*porous asphalt*) memiliki gradasi seragam (*uniform graded*) dengan persentase agregat kasar lebih besar dari agregat halus (Diana, 2004), sehingga menyediakan rongga udara yang besar. Rongga udara ini diharapkan dapat meloloskan air jika terjadinya hujan dan mencegah adanya genangan air pada permukaan jalan.

Pada penelitian ini yang ditinjau adalah pengaruh penggunaan RAP pada campuran aspal porus terhadap permeabilitas dan karakteristik *Marshall* yang meliputi *stability*, *flow*, *Void in Mix* (VIM), dan *Marshall Quotient* (QM), Penelitian ini menggunakan campuran aspal porus spesifikasi *Australian Asphalt Pavement Association* 2004 (AAPA 2004).

## KAJIAN PUSTAKA

### *Gradasi Agregat*

Gradasi adalah hal yang paling penting dalam menentukan perkerasan. Gradasi agregat mempengaruhi besarnya rongga antar butir yang akan menentukan stabilitas dan kemudahan dalam proses pelaksanaan (Silvia S, 1999). Gradasi didapat dari analisa saringan yang paling kasar diletakkan di atas dan yang paling halus terletak paling bawah.

Tipe gradasi agregat dibagi menjadi 3 macam (Silvia S, 1999), sebagai berikut:

1. Gradasi Seragam (*Uniform Graded*)

Gradasi seragam merupakan campuran agregat dengan ukuran mendekati sama/sejenis atau mengandung agregat halus lebih sedikit, sehingga agregat halus menyisakan ruang udara lebih banyak/rongga antar.

2. Gradasi Rapat (*Dense Graded*)

Gradasi rapat adalah campuran agregat kasar dan halus dalam porsi yang berimbang, karena porsi agregat yang imbang, ikatan antar agregat tersebut lebih kuat dibanding gradasi lainnya. Agregat gradasi rapat memiliki keuntungan yaitu menghasilkan stabilitas yang tinggi.

3. Gradasi Buruk/Jelek (*Poorly Graded*)

Gradasi buruk adalah campuran agregat yang tidak memenuhi kriteria gradasi seragam maupun gradasi rapat. Agregat bergradasi buruk umum digunakan untuk lapisan perkerasan lentur yaitu gradasi celak (*gap graded*), merupakan campuran agregat dengan 1 fraksi hilang atau 1 fraksi sedikit sekali.

### *Gradasi Campuran Aspal Porus*

Aspal porus merupakan campuran beraspal yang menggunakan gradasi seragam, dimana campuran tersebut direncanakan mempunyai porositas tinggi dibandingkan jenis perkerasan yang lain, sifat porus ini diperoleh dari campuran aspal porus yang menggunakan proporsi agregat halus lebih sedikit dan agregat kasar lebih banyak dibandingkan campuran jenis yang lain (Affan, 2006). Kandungan rongga/pori dalam jumlah yang besar diharapkan menghasilkan kondisi permukaan yang agak kasar, sehingga akan mempunyai tingkat kekesatan yang tinggi. Selain itu pori yang tinggi diharapkan dapat meloloskan air menuju ke bawah tanah saat terjadinya hujan. Persyaratan dan sifat teknis agregat pada campuran aspal porus seperti yang ditentukan oleh spesifikasi *Australian Asphalt Pavement Association* 2004 (AAPA 2004) dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2

Tabel 1. Ketentuan Campuran Aspal Porus

No	Kriteria Perencanaan	Nilai
1	Uji Cantabro Loss (%)	Maks. 35
2	Uji Aliran Aspal Kebawah (%)	maks. 0,3
3	Kadar Rongga didalam Campuran (VIM%)	18-25
4	Stabilitas marshall (kg)	Min. 500
5	Kelelahan Marshall (mm)	2-6
6	Kekakuan Marshall (kg/mm)	Maks. 400
7	Jumlah Tumbukan Perbidang	50

(Sumber: *Australian Asphalt Pavement Association* 2004)

Tabel 2. Gradasi Agregat Campuran Aspal Porus

Ukuran Ayakan (mm)	Berat lolos (%) Ag. Maks 14mm
19,000	100
13,200	85-100
9,530	45-70
4,760	10-25
2,380	7-15
1,190	6-12
0,595	5-10
0,297	4-8
0,149	3-7
0,074	2-5
Total	100
Kadar Aspal	4,5-6,0

Sumber: *Australian Asphalt Pavement Association* 2004

#### *Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)*

*Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)* merupakan limbah sisa perkerasan jalan yang telah rusak atau habis umur rencananya. RAP pada umumnya digunakan untuk perkerasan dengan metode pencampuran dingin (Nicholls, 1989). RAP biasanya mengandung agregat dengan ukuran banyak yang lebih kecil sehingga perlu dilakukan penambahan agregat baru yang ukuran dan jumlahnya tertentu agar memenuhi spesifikasi gradasi yang berlaku. Setelah gradasi gabungan dan jumlah RAP ditentukan maka dilanjutkan dengan penentuan aspal baru untuk mencapai sifat-sifat aspal yang diinginkan dalam campuran (NAPA, 1996).

Terdapat 2 jenis metode daur ulang untuk mengolah hasil pengerukan RAP yaitu berdasarkan proses dan tempat/alat yang digunakan (Nicholss, 1989). Metode daur ulang berdasarkan tempat alat bila ditinjau dari

penggunaan peralatan ada 2 macam yaitu:

#### 1. Metode daur ulang ditempat, *In Place Recycling*

Metode ini digunakan *In Place Recycling Machine*. Pemanasan lapisan perkerasan, pembongkaran, penggemburan lapis lama, penambahan bahan baru (agregat, aspal, dan bahan peremaja) pencampuran, serta perataan dilakukan oleh satu unit peralatan yang terdiri dari:

- Pemanas lapis permukaan perkerasan (*road preheater*).
- Alat bongkar lapis perkerasan (*hot milling*).
- Alat pencampur bahan lama dengan bahan baru (*pugmill mixer*).
- Alat penghampar (*paver/finisher*).
- Alat perata dan pematat (*compacting screed*).

#### 2. Metode daur ulang *In Plant Recycling*

Metode ini material RAP hasil penggarukan digaruk/dikupas dengan menggunakan alat penggaruk (*milling*) diangkut ke *Asphalt Mixing Plant (AMP)* tipe *batch* atau *continous* yang telah dimodifikasi. Di dalam unit pencampur ini material RAP dicampur dengan material baru yaitu agregat, aspal, dan bahan peremeja bila diperlukan. Campuran tersebut kemudian diangkut ke lokasi penghamparan dan dihampar dengan menggunakan alat penghampar kemudian dipadatkan. Peralatan yang diperlukan untuk pelaksanaan daur ulang *plant mix*, yaitu:

- Alat penggaruk (*milling*).
- Unit pencampur aspal (*asphalt mixing plant*).
- Dump truck*.
- Alat penghampar.
- Alat pematat.

### METODE PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan adalah uji analisis deskriptif pada pengujian aspal porus dengan bahan *Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)* yang disubstitusikan pada agregat dan penggunaan *fly ash* sebagai *filler*. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium PT. Merakindo Mix. Driyorejo, Gresik.

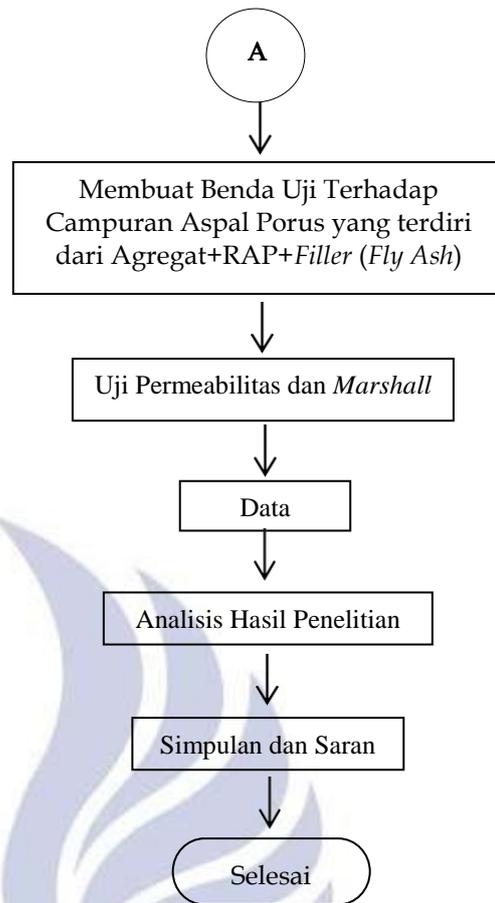
Gradasi agregat campuran aspal porus menggunakan gradasi seragam/terbuka (OGA 14) menurut spesifikasi *Australian Asphalt*

Association Pavement (2004), dengan bahan penyusun yaitu agregat batu pecah, RAP, *filler fly ash*, dan aspal pen 60/70 untuk membuat benda uji.

Sasaran penelitian yang akan diteliti pada penelitian ini adalah kadar aspal optimum pada campuran aspal porus dan bagaimana pengaruh substitusi agregat dengan RAP pada campuran aspal porus. Variabel dalam penelitian ini dibagi menjadi variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebas adalah variabel yang menyebabkan atau mempengaruhi, yaitu faktor-faktor yang diukur, dimanipulasi atau dipilih. Variabel terikat adalah faktor-faktor yang diobservasikan dan diukur untuk menentukan adanya pengaruh variabel bebas. Variabel bebas yang digunakan adalah kadar agregat RAP dan agregat baru. Sedangkan untuk variabel terikat adalah uji Marshall. Dengan parameter yang dicari stabilitas, *flow*, VIM, VMA, VFA, dan MQ. Tahapan dan prosedur yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Bagian Alur Penelitian



Gambar 1. Bagian Alur Penelitian

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Langkah pertama dalam penelitian ini adalah mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan, selanjutnya akan melakukan analisa saringan pada tiap masing-masing agregat. Setelah mendapatkan data analisa saringan, langkah selanjutnya adalah pembuatan benda uji, dimana benda uji akan di uji dan didapatkan nilai-nilai karakteristik *marshall* dan nilai permeabilitas. Bahan baku pembuatan campuran aspal porus yang digunakan, yaitu:

1. Agregat kasar/*Coarse agregat* ukuran 10-15 mm
2. Agregat halus/*Fine agregat* ukuran 0-5 mm
3. RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) ukuran 5-10 mm
4. *Filler* dengan menggunakan *Fly Ash* (Tipe F)

Rancangan komposisi campuran dilakukan analisa saringan menggunakan alat saringan agregat dari ukuran bukaan saringan yang terbesar ½” – 200” , dimana hasil analisa saringan didapatkan gradasi campuran aspal porus. Komposisi campuran gradasi gabungan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Gradasi Gabungan Aspal Porus Kontrol

No. Saringan	Agregat Kasar (10-15 mm)		RAP (5-10 mm)		Agregat Halus (0-5 mm)		Filler Fly Ash		Total	Spesifikasi AAPA 2004
		45%		40%		11%		4%		
1"	100	45,0	100	40,0	100	11,0	100	4,0	100	100
3/4"	100	45,0	100	40,0	100	11,0	100	4,0	100	100
1/2"	94,0	42,3	93,9	39,4	100	11,0	100	4,0	94,9	85-100
3/8"	17,3	7,8	77,8	32,7	100	11,0	100	4,0	53,9	45-70
4"	0,9	0,4	17,8	7,5	99,5	10,9	100	4,0	22,5	10-25
8"	0,5	0,2	0,3	0,13	71,3	7,8	100	4,0	12,2	7-15
16"	-	-	0,26	0,10	42,9	4,7	100	4,0	8,8	6-12
30"	-	-	0,2	0,09	24,9	2,7	100	4,0	6,8	5-10
50"	-	-	-	-	16,3	1,8	100	4,0	5,8	4-8
100"	-	-	-	-	7,6	0,8	99,2	3,97	4,8	3-7
200"	-	-	-	-	0,9	0,1	99,1	3,96	4,11	2-5

Sumber: Hasil analisis peneliti di PT. Merakindo Mix Krikilan Dryorejo, Gresik

Ada beberapa hal yang ditinjau dari campuran aspal porus dengan RAP untuk mengetahui kinerja campuran tersebut. Hal yang ditinjau yaitu karakteristik *marshall* dan permeabilitas.

1. Analisis Stabilitas Campuran Aspal Porus dengan RAP

Stabilitas adalah kemampuan lapis keras dalam menahan beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk yang permanen, dinyatakan dalam kg. Pengukuran stabilitas dengan uji *Marshall* diperlukan untuk mengetahui kekuatan tekan geser dari sampel yang ditahan dua sisi kepala penekan, dengan nilai stabilitas yang cukup tinggi diharapkan perkerasan dapat menahan beban lalu lintas tanpa terjadi kehancuran geser. Hasil nilai stabilitas ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai Stabilitas Aspal Porus dengan RAP

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Spesifikasi (kg)	Keterangan
2,5	497,42	>500 (AAPA 2004)	Tidak Memenuhi
3,0	527,96		Memenuhi
3,5	632,68		Memenuhi
4,0	654,50		Memenuhi
4,5	589,05		Memenuhi
5,0	471,24		Tidak Memenuhi

Nilai stabilitas aspal porus dengan RAP mencapai peningkatan pada kadar aspal 4,0%, dari nilai stabilitas minimum yaitu 500 kg menjadi 654,50 kg dengan persentase kenaikan 30,90% dari nilai minimum pada spesifikasi AAPA 2004. Kenaikan stabilitas hanya sampai pada kadar aspal 4,0% kemudian mengalami penurunan kembali pada kadar aspal 4,5% dan 5,0%. Ditinjau dari penurunan tersebut, mengisyaratkan bahwa nilai optimum pada

stabilitas terletak pada kadar aspal 4,0%. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi nilai stabilitas diantaranya yaitu bentuk, kualitas, tekstur permukaan dan gradasi agregat, gesekan antar butiran agregat (*internal friction*) dan penguncian antar agregat (*interlocking*), daya lekat (*cohesion*), dan kadar aspal dalam campuran. Pemakaian aspal dalam campuran akan menentukan nilai stabilitas campuran tersebut. Nilai stabilitas berpengaruh pada fleksibilitas lapis perkerasan yang dihasilkan.

2. Analisis Kelelahan (*Flow*) Campuran Aspal Porus dengan RAP

Kelelahan (*flow*) adalah besarnya deformasi vertikal benda uji yang terjadi pada awal pembebanan sehingga stabilitas menurun, yang menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada lapis perkerasan akibat menahan beban yang diterimanya. Hasil nilai kelelahan (*flow*) ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai Stabilitas Aspal Porus dengan RAP

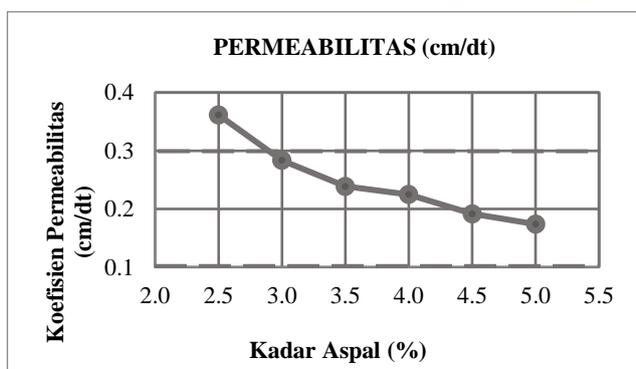
Kadar Aspal (%)	Flow (mm)	Spesifikasi (mm)	Keterangan
2,5	7,42	>500 (AAPA 2004)	Memenuhi
3,0	7,96		Memenuhi
3,5	2,68		Memenuhi
4,0	4,50		Memenuhi
4,5	9,05		Memenuhi
5,0	1,24		Memenuhi

Semua nilai kelelahan yang ditunjukkan pada Tabel 6 telah memenuhi spesifikasi AAPA 2004. Pada kadar aspal 4,0% didapat nilai kelelahan (*flow*) terbesar yaitu 3.20 mm, mengalami kenaikan dari nilai minimum spesifikasi AAPA sebesar 60% dan nilai *flow*

memenuhi spesifikasi AAPA. Nilai *flow* dipengaruhi oleh kadar dan viskositas aspal, gradasi agregat, jumlah dan temperatur pemadatan. Akan tetapi campuran yang memiliki angka kelelahan rendah dengan stabilitas tinggi cenderung menjadi kaku dan getas. Sedangkan campuran yang memiliki angka kelelahan tinggi dan stabilitas rendah cenderung plastis dan mudah berubah bentuk apabila mendapat beban lalu lintas. Kerapatan campuran yang baik, aspal yang cukup dan stabilitas yang baik akan memberikan pengaruh pada nilai *flow*. Dapat disimpulkan bahwa aspal porus dengan RAP atau tidak memiliki nilai kelelahan (*flow*) diatas nilai minimum yaitu 2,00 mm yang menunjukkan campuran bersifat plastis tetapi juga tetap elastis agar memenuhi kemampuan perkerasan jalan untuk menerima beban lalu lintas secara merata.

### 3. Analisis Permeabilitas Campuran Aspal Porus dengan RAP

Permeabilitas merupakan hal terpenting dari karakteristik aspal porus, karena sifat porus yang ada dalam aspal poruslah yang membedakan campuran ini berbeda dari campuran aspal lainnya, seperti aspal beton dan *stone mastic asphalt*. Hasil pengujian permeabilitas dapat dilihat pada Gambar 1. Hasil pengujian permeabilitas pada campuran aspal porus dengan RAP, menunjukkan semakin besar kadar aspal maka koefisien permeabilitasnya akan menurun. Nilai permeabilitas yang tidak memenuhi spesifikasi hanya terletak pada kadar aspal 2,5%, dimana nilai koefisien permeabilitas melebihi ambang batas spesifikasi.

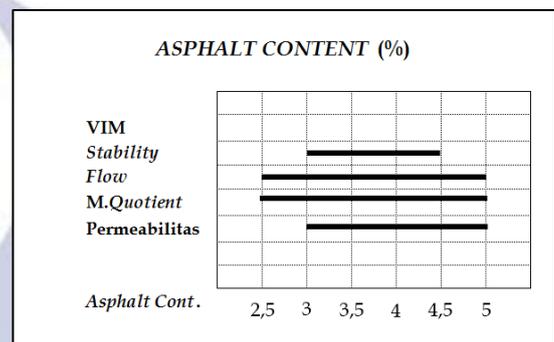


Gambar 1. Nilai Permeabilitas Aspal Porus dengan RAP

### 4. Kadar Aspal Optimum (KAO) Aspal Porus dengan RAP

Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

ditentukan dari hubungan beberapa parameter pengujian *mix design* aspal porus dengan standar yang disyaratkan seperti pada Gambar 2. Hasil pengujian *marshall* dan permeabilitas dengan menggunakan kadar aspal rencana 2.5%, 3%, 3.5%, 4%, 4.5%, dan 5% pada campuran aspal porus dengan gradasi AAPA 2004. Kadar Aspal Optimum (KAO) ditentukan dari hubungan beberapa parameter pengujian *mix design* aspal porus dengan standar yang disyaratkan seperti pada Gambar 2. KAO campuran aspal porus dengan RAP ditinjau dari beberapa karakteristik *marshall* hingga permeabilitas, lalu nilai yang memasuki spesifikasi tersebut akan ditarik garis seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Penentuan KAO Aspal Porus dengan RAP

Gambar 2 memperlihatkan nilai VIM pada campuran aspal porus dengan RAP tidak memasuki spesifikasi dari semua kadar aspal rencana, pada kadar aspal 3%-4.5% nilai stabilitas masuk spesifikasi AAPA, semua nilai kelelahan (*flow*) masuk pada spesifikasi AAPA, dan nilai permeabilitas yang masuk spesifikasi pada kadar aspal 3%-5%. Analisa menunjukkan salah satu nilai yang ditinjau yaitu nilai VIM tidak ada yang memenuhi spesifikasi, sehingga kadar aspal porus optimum untuk campuran aspal porus dengan RAP tidak dapat ditemukan.

### KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan pengaruh penggunaan agregat RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) dapat disimpulkan bahwa KAO yang dihasilkan dari penggunaan RAP 40% tidak dapat ditemukan. hal ini dapat disebabkan karena bahan RAP yang mengandung bitumen dan butiran menjadi lebih kecil dari keadaan semula, sehingga mempengaruhi nilai VIM pada campuran aspal porus. RAP cocok digunakan untuk penggantian agregat halus karena butiran tersebut jika dipanaskan akan menjadi lebih kecil, RAP tidak

cocok digunakan untuk penggantian agregat medium (5-10 mm).

#### DAFTAR PUSTAKA

*Anonymous. Australian Asphalt Pavement Association. 1977. Open Graded Asphalt Design Guide.*

*Anonymous. Australian Asphalt Pavement Association. 2004. National Asphalt Specification*

Nicholls. 1998. *Asphalt Surfacing*. London: E & FN Spon.

Saodang, Hamirhan. 2005. *Perancangan Perkerasan Jalan Raya (Buku 2)*. Bandung: Nova.

Standar Nasional Indonesia, Badan Standardisasi Nasional. 2003. "Metode Pengujian Campuran Beraspal Panas Dengan Alat Marshall RSNI M-01-2003".

Sukirman, Silvia. 1999. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung : NOVA.

Sukirman, Silvia. 2003. *Beton Aspal Campuran Panas*. Jakarta : Yayasan Obor Indonesia.

Sulaksono, Sony. 2001. *Rekayasa Jalan*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.

Sulistiyorini, Dewi. 2018. *Pemanfaatan Recycling Aspal sebagai Campuran Beton pada Plat Atap*. *Jurnal Science Tech Universitas Sarjanawiyata Tamansiswa*, Vol. 4, No. 1, hh 29-39

Suprpto, Heri. 2009. *Studi Model Pengelolaan Limbah Konstruksi dalam Pelaksanaan Pembangunan Proyek Konstruksi*. *Jurnal Proceeding PESAT (Psikologi, Ekonomi, Sastra, Arsitektur dan Sipil) Universitas Gunadarma*, Vol.3, ISSN: 18858-2559

