

KINERJA CAMPURAN BERASPAL POROUS YANG MENGGUNAKAN AGREGAT LOKAL DARI BANTEN (PORUS ASPHALT PERFORMANCE BY USING LOCAL AGREGGATE FROM BANTEN)

Rindu Twidi Bethary¹⁾, Dwi Esti Intari²⁾, Leo Affan Dzunnurain³⁾

^{1, 2, 3)}Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
^{1, 2, 3)}Jl. Jendral Sudirman KM 03 Cilegon, Banten
e-mail: ¹⁾rindubethary@untirta.ac.id, ²⁾dwiesti@untirta.ac.id, ³⁾leoaffandz@gmail.com
Diterima: 15 Februari 2021; direvisi: 22 Mei 2021; disetujui: 12 Juni 2021.

ABSTRAK

Campuran beraspal porous adalah campuran beraspal panas (hot mix) dengan kadar agregat halus rendah agar campuran memiliki rongga udara yang besar, sehingga memiliki permeabilitas yang tinggi, yang dapat mengalirkan air permukaan ke permukaan lapisan di bawahnya. Campuran beraspal porous ini umumnya memiliki stabilitas Marshall yang lebih rendah di banding aspal yang bergradasi rapat. Salah satu yang berpengaruh terhadap nilai stabilitas Marshall adalah karakteristik agregat. Provinsi Banten memiliki ketersediaan agregat lokal yang banyak, hal ini menguntungkan dalam mengatasi keterbatasan material konstruksi jalan. Berdasarkan hal tersebut telah dilakukan penelitian ini dengan tujuan mengetahui pengaruh penggunaan agregat lokal dari Banten terhadap kinerja campuran beraspal porous. Penelitian ini menggunakan gradasi University of New Hampshire Stormwater Center (UNHSC) dan pengujian Marshall serta permeabilitas dengan tiga jenis campuran beraspal porous yaitu yang menggunakan agregat lokal Lebak, Serang, dan Merak, dengan variasi kadar aspal 4,5%, 5,0%, 5,5%, 6,0%, dan 6,5%. Berdasarkan hasil pengujian karakteristik material campuran beraspal porous, yang meliputi agregat, filler dan aspal, semuanya memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018. Sedangkan hasil pengujian Marshall didapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 5.5% untuk ketiga jenis campuran beraspal porous tersebut serta semua parameter memenuhi persyaratan AAPA. Parameter stabilitas Marshall yang tertinggi adalah campuran aspal porous yang menggunakan agregat Merak dengan nilai koefisien permeabilitas relatif sama dan rendah untuk ketiga campuran aspal porous tersebut.

Kata Kunci: aspal porous, agregat lokal, Marshall, permeabilitas, stabilitas.

ABSTRACT

Porous asphalt is a mixture of asphalt with low levels of fine aggregate with the aim of providing a large air cavity, so that high permeability can drain surface water into the soil but has low stability. One of the value effects of stability is the aggregate characteristics, where Banten province has quite a lot of aggregate availability, this is beneficial in reducing the cost of building and rehabilitating roads and overcoming the limitations of road construction materials. This study used a University of New Hampshire Stormwater Center (UNHSC) gradation with three types of porous asphalt mixtures with local aggregates, namely Lebak, Serang, and Merak with variations in asphalt content of 4.5%, 5.0%, 5.5%, 6, 0%, and 6.5%. Based on the results of testing the characteristics of the porous asphalt mixture material which includes aggregate, filler and asphalt meet the specifications of Bina Marga 2018, then from the Marshall test, the Optimal Asphalt Content was obtained by 5.5% for the three types of porous asphalt mixtures where all parameters meet the AAPA requirements. While the highest stability parameters were porous asphalt mixtures using Merak aggregate with low permeability coefficient values for the three porous asphalt mixtures.

Keywords: porous asphalt, local aggregate, Marshall, permeability, stability.

PENDAHULUAN

Campuran beraspal membutuhkan agregat dalam jumlah yang cukup besar. Konsumsi agregat untuk setiap 1 km pembangunan jalan sekitar 30.000 ton (European Aggregates Association 2016). Di Indonesia, di beberapa tempat ditemui kesulitan untuk mendapatkan agregat sehingga harus mendatangkan dari tempat lain yang menyebabkan biaya pembangunan jalan menjadi tinggi (Affandi 2004). Salah satu solusinya adalah dengan menggunakan agregat lokal yang selama ini pemanfaatannya masih terbatas.

Selain itu, Indonesia juga memiliki curah hujan yang tinggi menyebabkan perkerasan aspal menjadi mudah rusak terutama jika terjadi genangan. Genangan juga dapat menimbulkan kecelakaan karena jalan menjadi lebih licin. Oleh sebab itu, di beberapa negara diterapkan campuran beraspal *porous* yang dapat mengalirkan air dari permukaan ke bagian dalam secara vertikal dan horizontal (Cahill, Adams, and Marm 2005). Di beberapa negara aspal *porous* sudah sejak lama dikembangkan dan digunakan dengan hasil yang cukup baik (Arlia, Saleh, and Anggraini 2018).

Kinerja campuran aspal *porous* bergantung terhadap karakteristik material yang digunakan,—dan gradasi agregat. Penentuan gradasi dalam campuran adalah proses yang tidak mudah, karena berbagai penelitian menunjukkan bahwa gradasi agregat tidak selalu cocok dengan campuran beraspal *porous* apabila material dan metode produksi yang digunakan berbeda (Setyawan dan Sanusi 2008). Campuran aspal *porous* menggunakan gradasi terbuka agar memiliki rongga udara yang besar, dihamparkan diatas lapisan beraspal yang kedap (Alvarez, Epps, and Estakhri 2011).

Campuran beraspal *porous* keselamatan yang lebih baik dan lebih nyaman terutama di waktu saat hujan karena lebih kesat serta, dapat mengurangi kebisingan (Miljkovic and Radenberg 2011; Raimundo et al. 2010). dan ramah lingkungan untuk pengelolaan air hujan (Setyawan dan Sanusi 2008; UNHSC 2009; Shreyas and Lavanya 2018). Tetapi di samping kelebihan tersebut, campuran beraspal *porous* memiliki umur rencana yang lebih pendek dibanding dengan campuran bergradasi

rapat biasa dikarenakan daya tahan dan kekuatannya lebih rendah (Pradoto et al. 2019).

Campuran beraspal *porous* terdiri dari aspal, agregat halus dan filler yang mengikat agregat kasar dan menjadi satu kesatuan dan dirancang untuk mendapatkan ruang pori-pori yang tinggi yaitu sekitar 18% pori-pori udara, serta mendapatkan rongga-rongga yang saling bersambungan dengan permeabilitas tinggi.

Selain itu kelebihan dari campuran beraspal *porous* dapat meningkatkan kontak roda kendaraan dengan permukaan jalan, mengeliminasi pengkabutan di belakang kendaraan dan mengurangi kesilauan permukaan jalan baik siang ataupun malam hari. Hal tersebut meningkatkan pelayanan jalan terhadap penggunaannya sehingga aspal *porous* merupakan salah satu teknologi yang dapat meminimalisir dampak buruk pada transportasi (Sembung et al. 2020). Sebagai contoh, selama 35 tahun teknologi ini berhasil diterapkan di Amerika Serikat sebagai bagian dari sistem manajemen air hujan (Wisconsin Asphalt Pavement Association 2015).

Menurut Prawiro et al. (2019) campuran beraspal *porous* memiliki permeabilitas yang tinggi tetapi memiliki stabilitas Marshall yang rendah disebabkan oleh banyaknya rongga di antar agregat (Prawiro et al. 2014). Hal ini sejalan dengan pernyataan Pradoto et al (2019) bahwa kelemahan campuran beraspal *porous*, antara lain umur rencana yang lebih pendek serta daya tahan dan kekuatan yang lebih rendah, namun dapat diperbaiki dengan memodifikasi aspal dan/atau agregat (Pradoto et al. 2019).

Menindaklanjuti apa yang telah diuraikan tersebut, maka telah dilakukan penelitian ini yaitu dengan mengkaji sampai sejauh mana kinerja campuran beraspal *porous* jika menggunakan agregat lokal yang tersedia di provinsi Banten. Ada tiga agregat lokal yang digunakan yaitu agregat dari Merak, Serang dan Lebak. Agregat dari Merak sudah diproduksi dan digunakan secara luas pada konstruksi jalan. Adapun agregat dari Serang dan Lebak, selain lokasinya di pelosok juga produksinya masih menggunakan peralatan sederhana dan belum banyak digunakan pada konstruksi jalan.

HIPOTESIS

Kinerja campuran beraspal *porous* yang menggunakan agregat lokal dari Banten diharapkan memenuhi persyaratan, baik dari segi karakteristik Marshall ataupun permeabilitasnya.

METODOLOGI

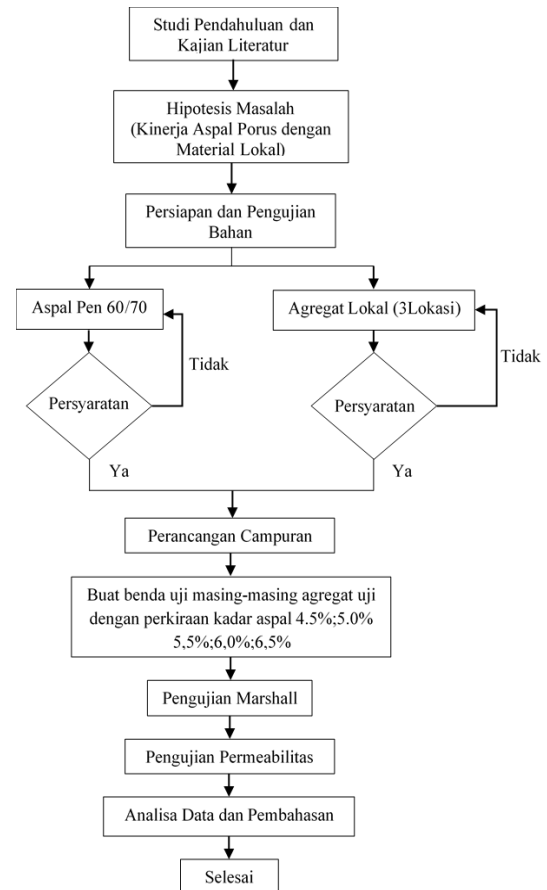
Penelitian kinerja campuran beraspal *porous* dengan menggunakan agregat lokal dari provinsi Banten ini dilakukan dengan metode eksperimen di laboratorium perkerasan jalan Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Secara umum tahapan kegiatan penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 dan diuraikan sebagai berikut:

1. Kajian Literatur dan Pengumpulan Data Sekunder

Kajian literatur dilakukan untuk mendapatkan rujukan metoda, komposisi, proporsi dan kinerja campuran beraspal *porous* yang diharapkan. Berdasarkan kajian literatur, diperoleh kriteria dalam melakukan penelitian sebagai berikut:

Berdasarkan ASTM C1701, permeabilitas pada campuran aspal berpori adalah 288 inci/ jam sampai 750 inci/jam. Campuran aspal *porous* ini terdiri dari persentase agregat halus yang lebih sedikit dibandingkan dengan aspal non *porous* dimana menghasilkan ikatan agregat yang lebih kecil dengan nilai rongga sebesar 10 – 25%. Dengan adanya rongga yang cukup besar diharapkan dapat memberikan ruang bagi air yang terdapat pada lapis permukaan untuk dapat dialirkan kedalam rongga aspal secara vertikal dan horizontal untuk dibuang ke dalam sistem drainase perkerasan.

Peningkatan proporsi agregat kasar dan mengurangi agregat halus dapat meningkatkan nilai rongga dalam campuran aspal. Oleh karena itu stabilitas yang dimiliki aspal *porous* lebih rendah bila dibandingkan dengan aspal beton yang menggunakan gradasi rapat. Dengan nilai rongga yang tinggi harus tetap menjaga kadar aspal campuran agar tidak *floating* ataupun *bleeding*.



Gambar 1. Tahapan Kegiatan Penelitian

2. Pengujian Karakteristik Bahan

Pengujian karakteristik bahan mencakup persiapan, penyediaan dan pengujian sifat fisik bahan aspal dan agregat lokal. Aspal yang digunakan adalah aspal pertamina pen 60/70, sedangkan untuk agregat yang digunakan ada 3 jenis agregat lokal yaitu agregat Merak dan agregat Serang dan Lebak.

Data hasil uji karakteristik aspal pen 60/70 yang ditampilkan adalah data hasil uji karakteristik aspal yang utama saja yaitu penetrasi, titik lembek, berat jenis dan kekentalan. Sedangkan pada hasil uji karakteristik agregat yang ditampilkan adalah hasil uji karakteristik yang utama saja yaitu keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles, dan berat jenis agregat.

3. Perancangan Campuran

Pembuatan rancangan campuran menggunakan metode Marshall dengan kriteria campuran beraspal *porous* sebagaimana yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kriteria perencanaan aspal *porous*

No	Kriteria Perencanaan	Nilai
1	Koefisien Permeabilitas	0,1 – 0,5 cm/s
2	Kadar Rongga di Dalam Campuran (VIM %)	18 – 25
3	Stabilitas Marshall (mm)	Min 500
4	Kelelahan Marshall (mm)	2 – 6
5	Marshall Qoutient (kg/mm)	Maks 400
6	Jumlah Tumbukan perbidang	50

Sumber: AAPA 2004

Tahapan ini dimulai dengan pembuatan benda uji Marshall dengan menggunakan aspal Pertamina penetrasi 60/70 dengan tiga jenis agregat lokal. Kadar aspal yang direkomendasikan Cahill Associates adalah antara 5,75% -- 6% sedangkan UNHSC antara 5,5% --6,5%. Berdasarkan rekomendasi tersebut, maka kadar aspal yang digunakan pada penelitian ini adalah 4,5% - 6,0 % dengan 5 variasi kadar aspal yang masing-masing berbeda 0,5%.

Ada beberapa gradasi agregat campuran beraspal *porous* yang sudah dilakukan diberbagai negara diantaranya: Malaysia, Switzerland, Inggris, Amerika, dan Jepang sebagaimana yang ditunjukkan pada Tabel 2. Sedangkan gradasi agregat campuran yang digunakan pada penelitian ini adalah gradasi senjang yang merujuk pada spesifikasi University of New Hampshire Stormwater Center (UNHSC 2009), sebagaimana tampak pada Gambar 2. Pada pembuatan benda uji, untuk memenuhi gradasi tersebut, agregat ditimbang per ukuran saringan.

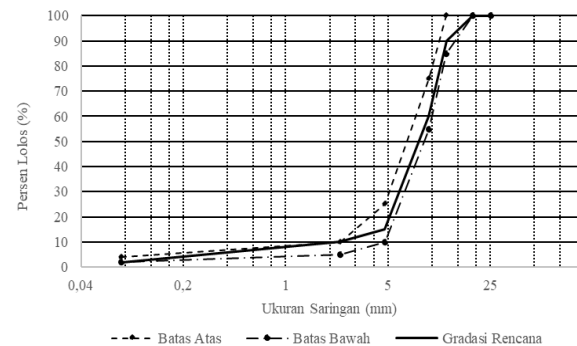
4. Pengujian Marshall

Pada penentuan kadar aspal optimum campuran dilakukan dengan menggunakan metoda Marshall. Metoda Marshall ditemukan oleh Bruce Marshall dan telah distandarisasi oleh ASTM ataupun AASHTO serta sudah beberapa kali modifikasi, yaitu ASTM D 1559-76 atau AASHTO T-245-90. Dari pengujian Marshall ini diperoleh data stabilitas, flow, hasil bagi Marshall (Marshall Qoutient) dan atau *porosity* campuran.

Tabel 2. Gradasi agregat *porous*

Saringan (mm)	BS ¹	BVR ²	UNHSC ³	Jepang ⁴
19,0	100	100	100	100
12,5	90-100	90-100	85-100	-
9,5	-	-	55-75	62-81
6,3	40-55	40-55	-	-
4,75	-	-	10-25	10-31
3,35	22-28	8-16	-	-
2,36	-	-	5-10	10-21
0,6	-	-	4-17	-
0,3	-	-	-	3-12
0,15	-	-	-	3-8
0,75	3-6	3-6	2-4	2-7

- 1) British Standard Gradation Limit
- 2) NonBritish Standard/Blackwater Valley Road
- 3) University of New Hampshire Stormwater Center
- 4) Jepang



Sumber: Briggs et al. (2016)

Gambar 2. Gradasi aspal *porous*

5. Pengujian Permeabilitas

Setelah dilakukan pengujian Marshall maka dilanjutkan dengan pengujian permeabilitas untuk mengetahui kemampuan campuran aspal *porous* dalam menyerap air.

Permeabilitas didefinisikan sebagai kondisi dimana gas atau benda cair mampu melewati medium yang *porous* atau kondisi medium untuk dapat mengalirkan air. Permeabilitas campuran beraspal *porous* dihitung dengan menggunakan persamaan 1, sedangkan katagori dan persyaratannya ditunjukkan pada Tabel 3.

$$k = (1,38 \times 10^{-7}) (3,92 V_a) (0,62 T) \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

- k : Permeabilitas (cm/s)
- V_a : Rongga udara
- T : Ketebalan (cm)

Tabel 3. Permeabilitas Wasterman

Kategori	Nilai Permeabilitas (cm/s)
Permeabilitas Tinggi	0,1-1,0 ⁻⁴
Permeabilitas Rendah	1,0 ⁻⁴ -1,0 ⁻⁶
Tidak Dapat Dialirkan	1,0 ⁻⁶ -1,0 ⁻⁹

Sumber: Westerman (1999)

6. Analisis Data Pengujian

Terhadap data hasil pengujian selanjutnya dilakukan analisa untuk menentukan sampai sejauhmana campuran beraspal *porous* yang menggunakan agregat lokal dapat memenuhi persyaratan yang berarti mampu melayani beban lalu lintas sesuai ketentuan. Analisa karakteristik Marshall dan permeabilitas campuran dilakukan terhadap beberapa parameter berikut (Sukirman 2016):

- VIM atau *porosity* atau persen rongga dalam campuran, merupakan indikator dari durabilitas dan mengetahui kemungkinan *bleeding*. Khusus dalam campuran beraspal *porous* untuk melihat sampai sejauhmana dapat mengalirkan air.
- Stabilitas menunjukan kekuatan dan ketahanan terhadap terjadinya alur (*ruting*)
- Kelelahan plastis (*flow*) merupakan indikator terhadap lentur.
- Hasil bagi Marshall atau Marshall Quotient adalah nilai pendekatan yang hampir menunjukkan nilai kekakuan suatu campuran beraspal dalam menerima beban. Nilai hasil bagi Marshall diperoleh dari perbandingan antara nilai stabilitas yang telah dikoreksi terhadap nilai kelelahan (*flow*), dan dinyatakan dalam satuan kg/mm atau kN/mm.
- Permeabilitas adalah indikator dari kecepatan air mengalir melalui perkerasan campuran beraspal *porous*.

HASIL DAN ANALISIS

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh data sebagai berikut:

Hasil Pengujian Agregat dan Aspal

1. Pemeriksaan Karakteristik Agregat

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini secara lebih spesifik berasal dari tiga lokasi yang berbeda, yaitu; Sekong (merak), Padarincang (Serang) dan Malimping (Lebak) Sedangkan untuk penggunaan abu batu sebagai agregat halus digunakan bahan yang berasal dari satu lokasi yang sama yaitu berasal dari PT. Batu Berlian Pratama Merak. Pada Gambar 3 berikut tampak bentuk fisik dari agregat yang digunakan dan pada Tabel 4 merupakan hasil pemeriksaan karakteristik utama agregat.



(a) Agregat Merak



(b) Agregat Serang



(c) Agregat Lebak

Sumber: Analisis Penulis (2021)

Gambar 3. Agregat lokal yang digunakan

Tabel 4. Pengujian karakteristik agregat

No	Jenis Pengujian	Hasil	Persyaratan
Agregat Halus			
1	Berat Jenis:		
	- Kering Permukaan	2,54	2,5 gr/cm ³
	- Curah Kering	2,51	2,5 gr/cm ³
	- Semu	2,59	2,5 gr/cm ³
	- Penyerapan	1,21	3%
Filler Semen			
1	Berat Jenis Semen	3,004	
Agregat Kasar (Merak)			
1	Keausan	29,2	40%
2	Berat Jenis:		
	- Kering Permukaan	2,53	2,5 gr/cm ³
	- Curah Kering	2,50	2,5 gr/cm ³
	- Semu	2,61	2,5 gr/cm ³
	- Penyerapan	2,25	3%
Agregat Kasar (Serang)			
1	Keausan	29,2	40%
2	Berat Jenis:		
	- Kering Permukaan	2,53	2,5 gr/cm ³
	- Curah Kering	2,50	2,5 gr/cm ³
	- Semu	2,61	2,5 gr/cm ³
	- Penyerapan	2,25	3%
Agregat Kasar (Lebak)			
1	Keausan	25,4	40%
2	Berat Jenis:		
	- Kering Permukaan	2,60	2,5 gr/cm ³
	- Curah Kering	2,58	2,5 gr/cm ³
	- Semu	2,63	2,5 gr/cm ³
	- Penyerapan	0,72	3%

Berdasarkan Tabel 4 dapat diketahui bahwa 3 fraksi agregat yang digunakan yaitu agregat halus dari PT. Batu Berlian Pratama Merak, filler semen dan agregat kasar lokal dari Merak, Serang dan Lebak, semuanya memiliki karakteristik utama yang memenuhi persyaratan sehingga dapat digunakan sebagai bahan campuran beraspal *porous* pada penelitian ini.

2. Pemeriksaan Karakteristik Aspal

Hasil pengujian terhadap karakteristik utama aspal Pertamina pen 60/70 dapat dilihat pada Tabel 5.

Berdasarkan data karakteristik utama aspal pen 60 yang ditunjukkan pada Tabel 5 dapat diketahui bahwa aspal tersebut terindikasi

memenuhi persyaratan sehingga dapat digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 5. Pengujian karakteristik aspal

No	Jenis Pengujian	Hasil	Persyaratan
1	Penetrasi (0,1 mm)	62	60 - 70
2	Titik lembek (°C)	50	Min 48
3	Berat Jenis	1,021	Min 1,00
4	Kekentalan (cSt)	1653,07	Maks 3000

Hasil Pengujian Karakteristik Marshall Campuran Beraspal

Hasil pengujian karakteristik Marshall campuran beraspal *porous* dengan tiga jenis agregat lokal adalah sebagai berikut:

1. Kadar Aspal Optimum (KAO)

Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) pada campuran aspal *porous* berbeda dengan campuran aspal pada umumnya. Sesuai dengan parameter yang disyaratkan AAPA dimana melihat parameter stabilitas dengan nilai minimum 550 Kg dan rongga dalam campuran (VIM) sebesar 18 % maka didapatkan nilai KAO pada masing-masing campuran dapat dilihat pada Tabel 6. Nilai KAO tersebut merupakan nilai tengah rentang kadar aspal yang menghasilkan campuran beraspal *porous* yang memenuhi persyaratan.

Tabel 6. Nilai kadar aspal optimum

No	Jenis Campuran Aspal	KAO
<i>Porous</i>		
1	Menggunakan Agregat Merak	5,5
2	Menggunakan Agregat Serang	5,2
3	Menggunakan Agregat Lebak	5,5

2. Stabilitas

Nilai stabilitas Marshall campuran ditentukan dengan mengkalikan hasil pembacaan dial pada pengujian stabilitas dengan angka koreksi hasil kalibrasi proving ring serta faktor penyesuaian ketinggian (tebal) benda uji. Hasil uji nilai stabilitas Marshall campuran beraspal *porous* yang menggunakan masing-masing agregat lokal Banten disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil pengujian stabilitas

Agregat	Kadar Aspal (%)				
	4,5	5	5,5	6,0	6,5
Merak	639,6	782,2	683,4	674,6	627
Serang	538,1	680,4	621,7	590,1	560,7
Lebak	709	740,8	728,3	691,9	627,4

Berdasarkan data pada Tabel 7 tersebut tampak bahwa campuran beraspal *porous* yang menggunakan masing-masing agregat lokal tersebut pada semua kadar aspal yang digunakan memiliki nilai stabilitas Marshall yang memenuhi persyaratan. Persyaratan stabilitas Marshall menurut standar AAPA adalah minimum 500 kg.

3. Kelelahan (*Flow*)

Nilai *flow* campuran aspal *porous* yang didapatkan setelah melalui pengujian dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil pengujian *flow*

Agregat	Kadar Aspal (%)				
	4,5	5	5,5	6,0	6,5
Merak	3,0	4,03	5,55	5,40	6,37
Serang	3,81	5,28	6,33	6,57	7,33
Lebak	3,21	4,03	5,22	5,77	6,23

Secara umum, data pada Tabel 8 menunjukkan bahwa semua jenis campuran beraspal *porous* tersebut memenuhi persyaratan minimum nilai *flow*, namun tidak semua jenis campuran dapat memenuhi persyaratan maksimumnya. Berdasarkan standar AAPA, persyaratan nilai *flow* campuran beraspal *porous* adalah 2-6 mm.

4. Hasil Bagi Marshall

Hasil bagi Marshall merupakan hasil bagi stabilitas dengan *flow*. Semakin tinggi MQ, maka akan semakin tinggi kekakuan suatu campuran dan semakin rentan campuran tersebut terhadap keretakan. MQ pada campuran aspal *porous* ini dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil Pengujian hasil bagi Marshall

Agregat	Kadar Aspal (%)				
	4,5	5	5,5	6,0	6,5
Merak	213.2	193.9	123.2	124.9	97.7
Serang	141.1	128.8	98.2	89.9	76.5
Lebak	220.9	183.7	139.6	119.9	100.6

Nilai dari hasil bagi Marshall menjadi indikator fleksibilitas campuran, yang artinya campuran yang menggunakan agregat dari Serang memiliki tingkat fleksibilitas paling tinggi dibandingkan campuran aspal *porous* yang menggunakan agregat Lebak dan Merak, hal ini berindikasi bahwa agregat berbentuk kubus (*cubical*) mempengaruhi peningkatan kekakuan pada campuran aspal.

5. Rongga Dalam Campuran (VIM)

Rongga dalam campuran atau disebut juga *porosity* adalah presentasi pori atau rongga udara yang terdapat dalam suatu campuran. *porosity* merupakan faktor utama dalam campuran beraspal *porous* dan menjadi pembeda dari campuran beraspal jenis lainnya. Nilai VIM pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Hasil pengujian rongga dalam campuran

Agregat	Kadar Aspal (%)				
	4,5	5	5,5	6,0	6,5
Merak	25,9	24,3	22,9	22,5	19,8
Serang	25,9	24,3	22,9	22,5	19,8
Lebak	26,8	24,5	16,5	22,7	23,1

Berdasarkan data pada Tabel 10 tersebut, tampak bahwa seluruh data VIM di atas persyaratan minimum dari AAPA yaitu minimum 18%, sedangkan jika dibanding dengan persyaratan maksimum AAPA, ada beberapa yang tidak memenuhi persyaratan, yaitu pada kadar aspal 4,5%. Persyaratan maksimum VIM menurut standar AAPA adalah maksimum 25%.

Hasil Pengujian Permeabilitas

Nilai permeabilitas yang dihitung dalam penelitian ini dilakukan terhadap campuran beraspal *porous* pada kadar aspal optimum dari setiap campuran beraspal agregat lokal. Hasil uji permeabilitas disajikan pada Tabel 11 berikut.

Tabel 11. Permeabilitas campuran

Agregat Lokal Campuran	T (cm)	Rongga Udara	K
Merak	6,29	24,97	$5,375 \times 10^{-5}$ (Permeabilitas Rendah)
Serang	6,63	24,27	$5,490 \times 10^{-5}$ (Permeabilitas Rendah)
Lebak	6,29	24,52	$5,645 \times 10^{-5}$ (Permeabilitas Rendah)

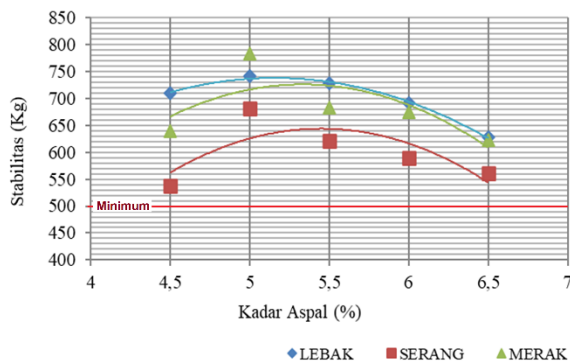
PEMBAHASAN

Campuran beraspal *porous* pada lapis permukaan (AC-WC) dibuat dengan menggunakan material aspal pen 60 dan 3 (tiga) macam agregat lokal dari provinsi Banten yaitu agregat Merak, agregat Serang dan gregat

Lebak. Berdasarkan hasil pengujian, karakteristik aspal pen 60, ketiga jenis agregat lokal tersebut serta agregat halus dan filler yang digunakan pada penelitian ini semuanya memenuhi persyaratan sesuai Spesifikasi Umum Bina marga Tahun 2018. Agregat kasar yang berasal dari lokasi Lebak memiliki nilai penyerapan yang paling rendah dibandingkan agregat Serang dan Merak. Agregat Serang pada umumnya berbentuk *irreguler* sedangkan agregat Lebak dan Merak umumnya berbentuk *angular*.

Hasil pengujian Marshall secara keseluruhan memenuhi persyaratan berdasarkan AAPA seperti yang diuraikan pada Tabel 6 – Tabel 11.

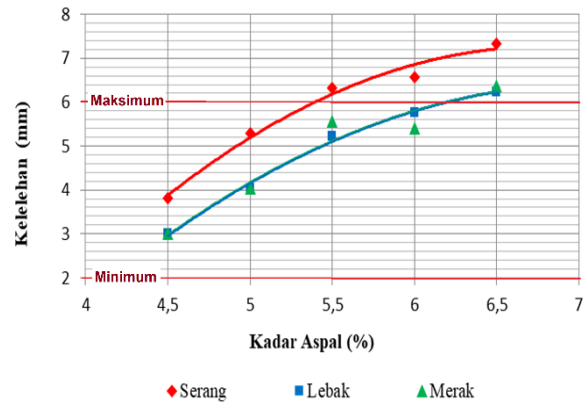
Pada parameter stabilitas Marshall, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4, nilai stabilitas Marshall yang paling rendah adalah campuran beraspal *porous* yang menggunakan agregat Serang sebesar 680,41 kg hal ini dikarenakan agregat Serang memiliki nilai berat jenis dan tingkat keausan yang lebih rendah bila dibandingkan dengan agregat lokal Merak dan Lebak. Selain itu, kemungkinan penyebab lainnya yaitu bentuk agregat Serang yang *irreguler*. Tetapi meskipun nilai stabilitas Marshall rendah namun masih di atas persyaratan minimum 500 kg serta lebih besar apabila dibandingkan dengan yang menggunakan agregat lokal dari kota Tomohon sebesar 582 kg (Sembung et al. 2020) dan campuran beraspal *porous* yang menggunakan substitusi gondorukem dengan nilai stabilitas Marshall sebesar 554,81 kg (Arlia, Saleh, and Anggraini 2018).



Gambar 4. Stabilitas campuran

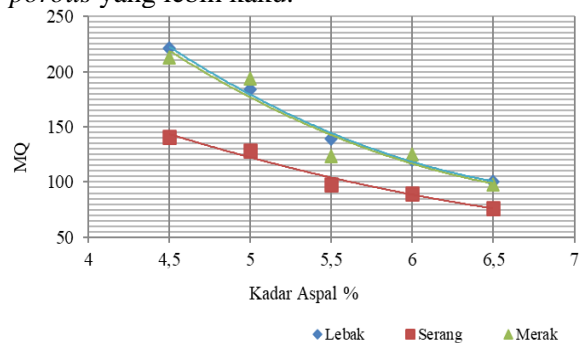
Berdasarkan parameter nilai keelehan sebagaimana tampak pada Gambar 5 dapat diketahui bahwa campuran beraspal *porous*

yang menggunakan agregat lokak dari serang memiliki nilai keelehan yang lebih besar dibandingkan campuran dengan kedua agregat lokal lainnya. Hal ini dikarenakan agregat Serang memiliki bentuk yang *irreguler* sehingga agregat mudah bergeser.



Gambar 5. Flow campuran

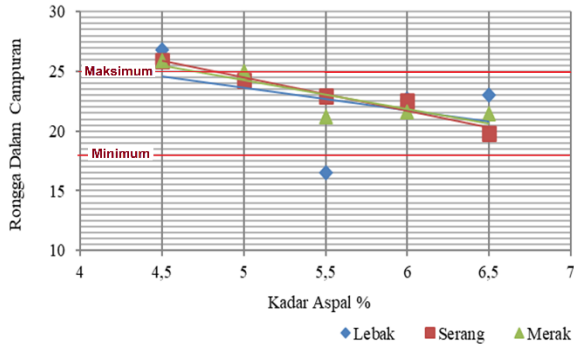
Kemudian untuk parameter nilai hasil bagi Marshall yang merupakan indikator fleksibilitas campuran dengan hasil uji seperti tampak pada Gambar 6 menunjukkan bahwa campuran beraspal *porous* yang menggunakan agregat lokal dari serang memiliki tingkat fleksibilitas paling tinggi dibandingkan campuran aspal *porous* yang menggunakan agregat Merak dan Lebak. Hal ini mengindikasikan bahwa agregat yang lebih *irreguler* menghasilkan campuran beraspal *porous* yang lebih bersifat fleksibel sedangkan agregat yang berbentuk lebih angular menghasilkan campuran beraspal *porous* yang lebih kaku.



Gambar 6. Hasil bagi Marshall campuran

Berdasarkan Gambar 7 dapat dilihat bahwa nilai porositas pada masing-masing campuran beraspal *porous* yang menggunakan ketiga jenis agregat lokal tersebut memiliki nilai yang memenuhi persyaratan AAPA yaitu minimum sebesar 18% dan maksimum 25%. Nilai porosititas ketiga jenis campuran tersebut

relatif sama karena gradasi agregat campurannya dibuat sama. Hal lainnya tampak juga dengan bertambahnya kadar aspal dalam campuran menyebabkan penurunan rongga dalam campuran.



Gambar 7. Porosity

Ketiga jenis campuran beraspal *porous* tersebut, pada masing-masing Kadar Aspal Optimum (KAO), memiliki nilai koefisien permeabilitas yang relatif sama. Hal ini sejalan dengan nilai *porosity* yang juga relatif sama. Nilai koefisien permeabilitas ketiga jenis campuran tersebut rata-rata sekitar 5×10^{-5} cm/s atau masuk pada kriteria permeabilitas rendah. Nilai koefisien permeabilitas katagori rendah yaitu dengan nilai antara 10^{-4} cm/s sampai dengan 10^{-6} cm/s.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa karakteristik material yang digunakan meliputi agregat kasar, agregat halus, filler dan aspal pen 60 memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga Tahun 2018. Sedangkan hasil pengujian Marshall untuk parameter stabilitas yang tertinggi adalah campuran aspal *porous* yang menggunakan agregat lokal Merak dan nilai *flow* yang tertinggi adalah campuran beraspal *porous* dengan yang menggunakan agregat Merak lokal Serang. yang memenuhi persyaratan AAPA untuk lalu lintas sedang. Nilai *flow* yang tinggi sejalan dengan nilai hasil bagi marshall yang rendah mengindikasikan bahwa campuran aspal *porous* yang menggunakan agregat Lebak lokal Serang memiliki kekuatan yang memadai dan bersifat lebih plastis sehingga dan menghasilkan perkerasan jalan beraspal *porous* yang lebih mampu mengikuti deformasi akibat beban lalu

lintas. Sedangkan campuran beraspal *porous* lainnya yang menggunakan agregat lokal Merak dan Lebak memiliki kekuatan yang lebih tinggi (stabilitas lebih tinggi) namun lebih kaku (hasil bagi Marshall lebih tinggi). Walau demikian, semua jenis campuran memiliki karakteristik yang memenuhi persyaratan. Perbedaan sifat antara ketiga jenis campuran beraspal *porous* tersebut kemungkinan disebabkan karena bentuk agregat lokal Serang berbentuk *irregular* sedangkan agregat lokal Merak dan Lebak berbentuk angular.

Dengan gradasi agregat campuran yang dibuat relatif sama (dengan penimbangan benda uji per fraksi), pada Kadar Aspal Optimum (KAO) ketiga jenis campuran beraspal *porous* tersebut memiliki nilai *porosity* atau persen rongga dalam campuran (VIM) yang relatif sama meskipun ada perbedaan bentuk antara agregat lokal Serang dengan agregat lokal lainnya. Selain itu, berdasarkan nilai koefisien permeabilitas campuran yang berada antara 10-4 cm/s sampai dengan 10-6 cm/s, ketiga jenis campuran beraspal *porous* tersebut masuk dalam katagori permeabilitas rendah.

Saran

Pada penelitian ini hanya meninjau kinerja campuran aspal *porous* berdasarkan pengujian Marshall dan permeabilitas sehingga untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan pengujian kuat desak (*unconfined compressive test*). Selain itu untuk membuktikan apakah agregat lokal dapat digunakan pada campuran aspal *porous* disarankan perlu untuk menggunakan gradasi berbeda seperti BS (*British Standard*), Jepang, BVR (*Non British Standard*) dan gradasi lainnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada Jurusan Teknik Sipil dan Laboratorium Jalan Universitas Sultan Ageng Tirtayasa yang telah mendukung sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan.

DAFTAR PUSTAKA

Affandi, Furqon. 2004. Kebutuhan Agregat Untuk Perkerasan Lentur Dan Perkerasan Kaku (Beton Semen).” Jurnal Litbang Jalan 21 (2): 1-7.

- Alvarez, Alex E, Amy Epps, and Cindy Estakhri. 2011. A Review of Mix Design and Evaluation Research for Permeable Friction Course Mixtures. *Construction and Building Materials* 25(3):1159–66.
- Arlia, Leni, Sofyan M. Saleh, dan Rennu Anggraini. 2018. Karakteristik Campuran Aspal Porus Dengan Substitusi Gondorukem Pada Aspal Penetrasi 60/70. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Syiah Kuala* 1 (3): 657–666.
- Bethary, Rindu Twidi, Bambang Sugeng Subagio, Harmain Rahman, dan Nyoman Suryana. 2019. Effect of Slag and Recycled Materials on the Performance of Hot Mix Asphalt (AC-BC). *Jurnal Teknik Sipil* 26(1):1–10.
- Briggs, Joshua F., Robert M. Roseen, Thomas P. Ballesterio, Jeff Pochily and Grant Swenson. 2016. UNHSC Design Specifications for Porous Asphalt Pavement and Infiltration Beds. UNH Stormwater Center.
- Cahill, Thomas H, Michele Adams, and Courtney Marm. 2005. Stormwater Management with Porous Pavements. *Government Engineering* 14–19.
- European Aggregates Association (UEPG). 2016. A Sustainable Industry for a Sustainable Europe. Brussels: UEPG.
- Miljkovic, Miomir, and Martin Radenberg. 2011. Thin Noise-Reducing Asphalt Pavements for Urban Areas in Germany. *International Journal of Pavement Engineering* 13(6):1–32.
<https://doi.org/10.1080/10298436.2011.569028>.
- Pradoto, Rani, Eliza Puri, Tri Hadinata, Qinthara D Rahman, and Muhammad Ryan Az-Zuchruf. 2019. Improving Strength of Porous Asphalt: Utilizing FLY ASH Into Nanomaterials In Experimental Approach. *Jurnal Rekayasa Sipil* 15 (2): 75–89.
- Prawiro, Bangun, Nugraha Pasca, Ludfi Djakfar, dan Hendi Bowoputro. 2014. “Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Sebagai Agregat Kasar Pada Campuran Aspal Porus Dengan Tambahan Gilsonite.”
- Raimundo, I., E. Freitas, O. Inácio, and P. Pereira. 2010. Sound Absorption Coefficient of Wet Gap Graded Asphalt Mixtures. *International Congress on Noise Control Engineering*, 1–10.
- Sembung, Nadya T., Theo K. Sendow, Steve Palenewen. 2020. Analisa Campuran Aspal Porus Menggunakan Material Dari Kakaskasen Kecamatan Tomohon Utara Kota Tomohon. *Jurnal Sipil Statik* 8 (3): 345–52.
- Setyawan, Ary, dan Sanusi. 2008. “Observasi Properties Aspal Porus Berbagai Gradasi Dengan Material Lokal.” *Media Teknik Sipil*, 15–20.
- Shreyas, K, and J Lavanya. 2018. Comparison of Flexible (Dense Graded) & Porous (Open Graded) Asphalt Surface Course with Stone Dust as a Filler in Marshal Mix Design. *International Journal of Application or Innovation in Engineering and Management* 6 (4): 84–90.
- University of New Hampshire Stormwater Center (UNHSC). 2009. UNHSC Design Specifications for Porous Asphalt Pavement and Infiltration Beds. Durham: UNHSC.
- Westerman, J.R. 1999. AHTD’s Experience with Superpave Pavement Permeability. *Proceedings of Arkansas Superpave Symposium*. Arkansas, USA.
- Wisconsin Asphalt Pavement Association. 2015. Porous Asphalt Pavements. http://www.wispave.org/wp-content/uploads/dlm_uploads/WAPA_Tech_Bulletin_Porous_Aspalt_Pavements_2015-09.pdf.