

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH PENGGUNAAN KALSIMUM KARBONAT (CaCO_3) SEBAGAI *FILLER* DALAM CAMPURAN LAPIS PERMUKAAN ASPAL PORUS TERHADAP KARAKTERISTIK *MARSHALL*

Ricardho Tri Wiranto (Universitas Atma Jaya Makassar, Makassar, ricardhow@gmail.com)
Stevy Thioritz (Universitas Atma Jaya Makassar, Makassar, stevyuajm@gmail.com)
Mursalim (Universitas Atma Jaya Makassar, Makassar, mursalimmuddin62@gmail.com)

Received : 23 November 2023 Revised : 29 November 2023 Accepted : 30 November 2023

ABSTRAK

Aspal porus merupakan salah satu jenis aspal yang memiliki karakteristik khusus yang memungkinkannya untuk menyerap air dan mengalirkannya ke dalam lapisan perkerasan bawah, karena kemampuannya untuk mengurangi genangan air di permukaan jalan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tentang perbandingan karakteristik campuran aspal porus berdasarkan uji *Marshall* dengan standar Jepang dengan memvariasikan kadar aspal sebanyak 5 variasi kadar aspal. Metode penelitian yang digunakan ada 2 yaitu: Pengujian karakteristik aspal yang berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2 Divisi 6 tentang perkerasan aspal, dan gradasi agregat dan pengujian *Marshall Test* yang berdasarkan spesifikasi Jepang (JRA). *Marshall Test* yang dilakukan juga terbagi menjadi 2 pengujian yaitu, *Marshall Konvensional* dan *Marshall Immersion*.

Hasil penelitian menunjukkan aspal porus standar Jepang dengan melihat VIM dan stabilitas, campuran aspal porus dengan *filler* semen Portland lebih baik dibanding dengan *filler* CaCO_3 karena menghasilkan stabilitas yang lebih tinggi dan rongga udara yang lebih sedikit. Persentase KAO (Kadar Aspal Optimum) yang didapat dengan menggunakan *filler* CaCO_3 adalah 4%.

Kata Kunci: Aspal Porus, Pengujian *Marshall*, CaCO_3 , Semen *Portland*, JRA

ABSTRACT

Porous asphalt is a type of asphalt that has special characteristics that allow it to absorb water and drain it into the lower pavement layer, because of its ability to reduce water pooling on the road surface.

This research aims to determine the comparison of porous asphalt mixture characteristics based on Marshall testing with Japanese standards by varying the asphalt content with 5 different variations. There are two research methods used: Testing the asphalt characteristics based on the General Specification of Bina Marga Year 2018 Revision 2 Division 6 regarding asphalt pavement, and aggregate gradation and Marshall Test based on Japan Road Association (JRA). The Marshall Test is also divided into two tests: Conventional Marshall and Immersion Marshall.

The research results indicate that Japanese standard porous asphalt, based on the VIM and stability, shows that porous asphalt mixture with Portland cement filler performs better compared to the one with CaCO_3 filler, as it yields higher stability and fewer air voids. The percentage of OAC (Optimum Asphalt Content) obtained using CaCO_3 filler is 4%.

Keywords: Porous Asphalt, Marshall Test, CaCO_3 , Portland Cement, JRA

PENDAHULUAN

Menurut Djumari dan Sarwono (2009) aspal porus adalah campuran beraspal yang didesain mempunyai porositas lebih tinggi dibandingkan jenis perkerasan yang lain, sifat porus diperoleh karena campuran aspal porus menggunakan proporsi agregat halus lebih sedikit dibandingkan campuran jenis yang lain. Kandungan rongga / pori dalam jumlah yang besar, diharapkan menghasilkan kondisi permukaan agak kasar, sehingga akan mempunyai tingkat kekesatan yang tinggi. Selain itu pori yang tinggi diharapkan dapat berfungsi sebagai saluran drainase di dalam campuran.

Karena kemampuannya untuk mengurangi genangan air di permukaan jalan, aspal porus sering digunakan pada perkerasan WC (*Wearing Course*) yang berfungsi sebagai lapisan permukaan jalan. Dengan banyaknya rongga yang dimiliki aspal porus mengakibatkan stabilitas dari campuran aspal porus relatif lebih rendah dibanding perkerasan lain.

Fungsi aspal porus biasanya digunakan pada jalan yang memiliki beban lalu lintas yang rendah seperti tempat parkir, lapangan tenis, lorong-lorong kecil yang hanya dilalui kendaraan ringan, aspal porus

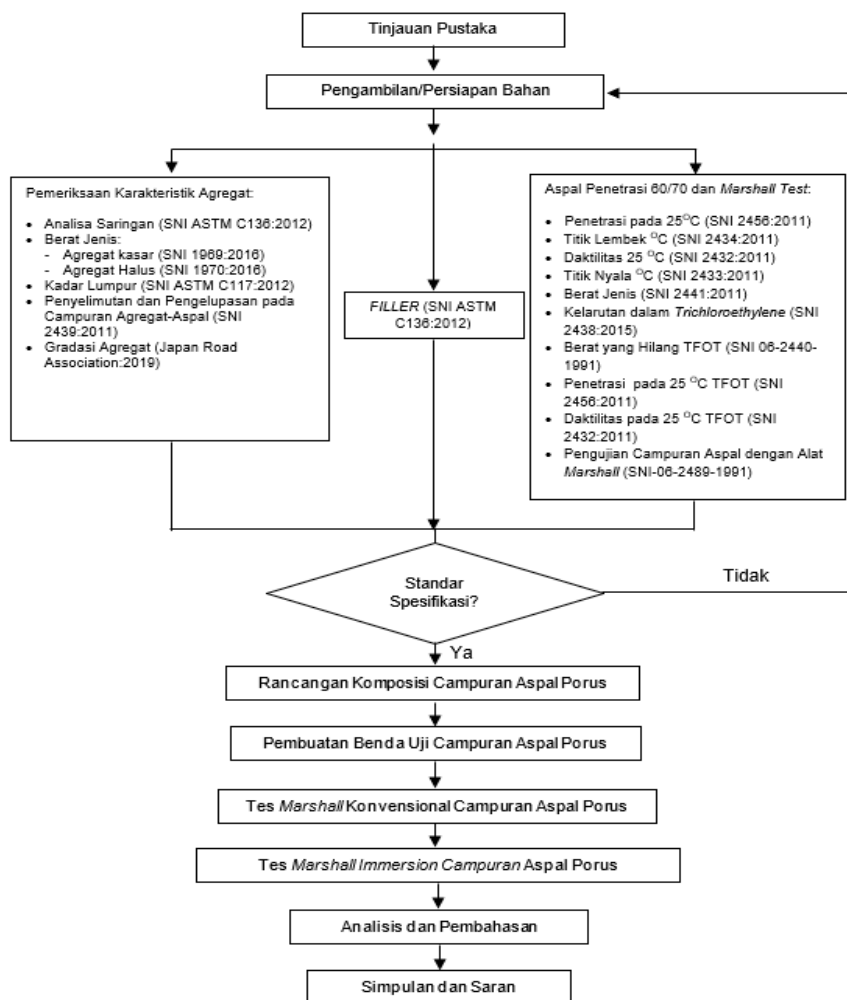
(*porous asphalt*) merupakan campuran bergradasi terbuka dengan persentase agregat kasar yang besar, persentase agregat halus yang kecil, sehingga menyediakan rongga udara yang besar. Rongga udara ini diharapkan dapat meloloskan atau memberikan ke luasaan air yang berada di lapis permukaan untuk dapat di alirkan ke dalam rongga aspal secara vertikal dan horizontal serta menyalurkannya dalam sistem drainase perkerasan.

Sifat-sifat aspal porus ditentukan oleh gradasi agregat, disamping juga tergantung dari sifat-sifat bahan pembentuk aspal porus itu sendiri. Pemilihan gradasi merupakan proses yang tidak mudah dalam menentukan sifat-sifat aspal porus yang diinginkan, hampir setiap lembaga penelitian di berbagai negara mempunyai gradasi agregat yang spesifik berdasarkan resep yang tersedia, dan gradasi tersebut tidak selalu cocok (*Compatible*) jika digunakan dengan material dan metode produksi yang berbeda.

Perkerasan lapis aus yang menggunakan aspal porus perlu dilakukan pengujian analisis karakteristik *Marshall* untuk memastikan kualitas perkerasannya. Analisis ini merupakan suatu metode pengujian yang umum digunakan untuk mengukur kekuatan dan kekakuan campuran aspal pada suhu ruang. Dalam analisis karakteristik *Marshall*, campuran aspal porus dipanaskan hingga mencapai suhu tertentu, kemudian dicetak dan ditekan dalam mould menggunakan alat. Tujuan dari analisis karakteristik *Marshall* terhadap aspal porus adalah untuk menentukan parameter desain campuran yang optimal, termasuk komposisi bahan, proporsi aspal, serta gradasi agregat yang digunakan dalam campuran.

METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental. Secara garis besar penelitian yang dilakukan mencakup pemeriksaan karakteristik material berupa pemeriksaan agregat dan aspal, rancangan komposisi campuran dengan bahan pengisi kalsium karbonat, pembuatan benda uji, serta pengujian *Marshall*.



Gambar 1. Alur Penelitian

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Jalan dan Aspal Universitas Atma Jaya Makassar.

Persiapan Alat dan Bahan



Gambar 2. Lokasi Penelitian

Persiapan alat-alat yang dibutuhkan antara lain adalah *pan*, saringan, oven, timbangan, termometer, *water bath*, lap, penumbuk, alat *marshall test*, sarung tangan, kompor, wajan, dan lain sebagainya. Adapun bahan-bahan yang diperlukan antara lain adalah aspal penetrasi 60/70, agregat kasar, agregat Halus, *filler* (kalsium karbonat dan semen *Portland* tipe I).

a. Aspal

Aspal adalah material perekat berwarna hitam atau coklat tua dengan unsur utama bitumen yang diperoleh dari residu hasil pengilangan minyak bumi yang berfungsi sebagai pengikat agregat dalam pembuatan jalan. Kandungan aspal terdiri dari 80% karbon, 10% hidrogen, 6% belerang, dan sisanya oksigen, nitrogen serta sejumlah renik besi, nikel, dan vanadium.

Tabel 1. Syarat Ketentuan Aspal Penetrasi 60/70

No	Pengujian	Metode Pengujian	Satuan	Persyaratan
1	Penetrasi	SNI 2456-2011	0,1 mm	60-70
2	Penetrasi setelah kehilangan berat	SNI 2456-2011 dan SNI 06-2440-1991	% semula	≥ 54
3	Titik Nyala	SNI 2433-2011	$^{\circ}\text{C}$	≥ 232
4	Titik Lembek	SNI 2434-2011	$^{\circ}\text{C}$	≥ 48
5	Berat Jenis Aspal	SNI 2441-2011		$\geq 1,0$
6	Daktilitas	SNI 2432-2011	cm	≥ 100
7	Daktilitas setelah kehilangan berat	SNI 2432-2011 dan SNI 06-2440-1991	cm	≥ 50
8	TFOT – Berat yang hilang	SNI 06-2441-1991	%	$\leq 0,8$
9	Kelarutan dalam <i>Trichloroethylene</i>	AASHTO T44-14	%	≥ 99

(sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018)

b. Agregat Kasar

Agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil desintegrasi dari bebatuan alami atau berupa batu pecah/belah yang dihasilkan dari industri pemecah batu, dan tertahan pada saringan No.8.

Tabel 2. Syarat Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian		Metode Pengujian	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap Larutan	Natrium sulfat	SNI 3407:2008	Maks. 12%
	Magnesium sulfat		Maks. 18%
Abrasi dengan Mesin los Angeles ¹	Campuran AC	SNI 2417:2008	Maks. 6%
	Modifikasi dan SMA		Maks. 30%
	Semua jenis campuran Beraspal bergradasi lainnya		Maks. 8%
	100 putaran		Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 2439:2011	Min. 95 %
Butiran pecah pada agregat kasar	SMA	SNI 7619:2012	100/90 ^{*)}
	Lainnya		95/90 ^{**)}
Partikel Pipih dan Lonjong	SMA	SNI 8287:2016 Perbandingan 1:5	Maks. 5%
	Lainnya		Maks. 10%
Material Lolos Ayakan No. 200		SNI ASTM C117:2012	Maks. 1%

(sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga,2018)

c. Agregat Halus

Agregat halus adalah semua butiran lolos saringan 4,75 mm atau lolos saringan No.#4. Agregat halus terdiri dari pasir bersih dan bahan-bahan halus hasil pecahan batu atau kombinasi dari bahan-bahan tersebut.

Tabel 3. Syarat Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Metode Pengujian	Nilai
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 50%
Uji kadar rongga tanpa pemadatan	SNI 03-6877-2002	Min. 45%
Gumpalan lempung dan butir-butir Mudah pecah dalam agregat	SNI 03-4141-1996	Maks. 1%
Agregat lolos ayakan No.200	SNI ASTM C117:2012	Maks. 10%

(sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga,2018)

d. Bahan Pengisi (*Filler*)

Filler merupakan material pengisi dalam lapisan aspal. *Filler* dalam campuran beton aspal adalah bahan yang 100% lolos saringan No.#100 dan paling kurang 75% lolos saringan No.#200. Fungsi *Filler*

yaitu untuk mengisi rongga antar agregat halus dan kasar yang dapat diperoleh dari hasil pemecahan batuan secara alami maupun buatan.

Macam bahan pengisi yang dapat digunakan ialah abu batu, kapur padam, *Portland Cement* (PC), debu dolomit, abu terbang, debu tanur tinggi pembuat semen atau bahan mineral tidak plastis lainnya.

Perencanaan Campuran Aspal Porus

Perencanaan campuran aspal porus terbagi menjadi 2 tahap, yaitu:

a. Gradasi Agregat

Gradasi agregat merupakan penggolongan bahan agregat berdasarkan ukuran. Gradasi agregat yang digunakan termasuk dalam *open gap-graded*. Gradasi agregat untuk campuran aspal porus berstandar Jepang yang dikutip dari penelitian H Nakanishi (2018) yang dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Gradasi Agregat

Sieve	Ukuran Saringan (mm)	Persentase Agregat Lolos (%)		
$\frac{3}{4}$ "	19	100	-	-
$\frac{1}{2}$ "	13,2	90	-	100
$\frac{3}{8}$ "	9,5	-	-	-
No.4	4,75	11	-	35
No.8	2,36	10	-	20
No.200	0,075	3	-	7

b. Perencanaan Campuran Kadar Aspal

Untuk mencari kadar aspal rencana, digunakan persamaan 1 dibawah ini yang dimana kadar aspal rencana yang didapat tergantung dari hasil gradasi agregat.

$$P_b = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%F) + K \quad (1)$$

Dimana:

P_b = kadar aspal perkiraan (%)

CA = agregat kasar, adalah % terhadap agregat tertahan saringan no.8

FA = agregat halus, adalah % terhadap agregat lolos saringan no.8 dan tertahan saringan no.200

F = bahan pengisi (*Filler*), adalah bahan yang minimal 75% dari berat total bahan lolos saringan no.200

K = konstanta berkisar antara 0,5 – 1,0

4. Pembuatan Benda Uji

Benda uji yang digunakan dalam pengujian *Marshall* ini adalah 25 buah, dengan 3 benda uji ditujukan untuk pengujian *Marshall* konvensional dengan 5 variasi kadar aspal dan 1 benda uji ditujukan untuk pengujian *Marshall Immersion* dengan 5 variasi kadar aspal, dan 5 buah benda uji dengan 5 variasi kadar aspal dengan *filler* semen sebagai pembanding hasil *Marshall*. Variasi kadar aspal berjumlah 5 variasi dengan masing-masing variasi berbeda 0,5%. Seandainya kadar aspal perkiraan adalah x%, maka variasi kadar aspal yang didapat adalah (x-1%), (x-0,5%), x%, (x+0,5%), dan (x+1%).

Marshall Immersion dilakukan dengan untuk mengevaluasi sejauh mana campuran dapat bertahan terhadap perendaman, suhu, dan air.

Proses pengujian ini mengikuti prosedur yang sama dengan pengujian *marshall* konvensional, namun dengan perbedaan pada proses perendaman *marshall immersion* yaitu selama 24 jam pada suhu 60°C.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Pengujian Karakteristik Aspal Penetrasi 60/70

Dari hasil pengujian karakteristik aspal yang dilakukan oleh penulis terlihat bahwa semua hasil pengujian karakteristik aspal penetrasi 60/70, memenuhi persyaratan spesifikasi umum bina marga tahun 2018 yang terdapat dalam divisi 6.

Pemeriksaan aspal penetrasi 60/70 yang dilakukan penulis meliputi 9 percobaan yang dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian Aspal Penetrasi 60/70

No	Pengujian	Metode Pengujian	Satuan	Persyaratan	Hasil
1	Penetrasi	SNI 2456-2011	0,1 mm	60-70	61
2	Penetrasi setelah kehilangan berat	SNI 2456-2011 dan SNI 06-2440-1991	% semula	≥ 54	62,76
3	Titik Nyala	SNI 2433-2011	°C	≥ 232	288
4	Titik Lembek	SNI 2434-2011	°C	≥ 48	53,3
5	Berat Jenis Aspal	SNI 2441-2011		≥ 1,0	1,1053
6	Daktilitas	SNI 2432-2011	cm	≥ 100	132,16
7	Daktilitas setelah kehilangan berat	SNI 2432-2011 dan SNI 06-2440-1991	cm	≥ 50	98,67
8	TFOT – Berat yang hilang	SNI 06-2441-1991	%	≤ 0,8	0,68
9	Kelarutan dalam <i>Trichloroethylene</i>	AASHTO T44-14	%	≥ 99	99,061

2. Hasil Pengujian Karakteristik *Filler*

Pemeriksaan yang dilakukan untuk kedua *filler* yaitu: pemeriksaan berat jenis dan analisa saringan.

Tabel 6. Hasil Pengujian *Filler*

Pengujian	Jenis <i>Filler</i>	Satuan	Hasil	Syarat
Berat Jenis	Kalsium		2,75	-
Lolos Saringan No.200	Karbonat	%	96,4	Min. 75%
Berat Jenis	Semen		3,0214	-
Lolos Saringan No.200	<i>Portland</i> Tipe I	%	98,2	Min. 75%

3. Hasil Gradasi Agregat

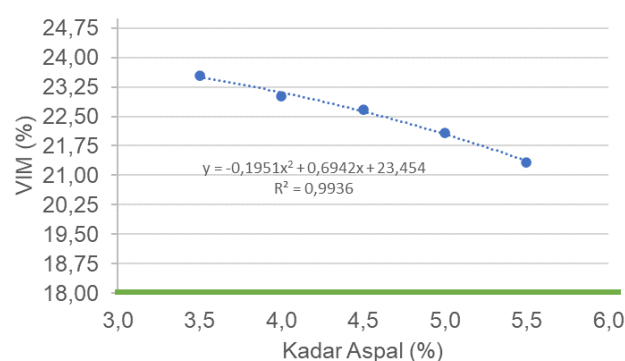
Pemeriksaan gradasi dilakukan menggunakan analisa saringan. Gradasi yang digunakan adalah gradasi celah terbuka (*open gap-graded*) sesuai dengan penelitian H Nakanishi (2019) atau *Japan Road Association* (2019)

Tabel 7. Gradasi Agregat

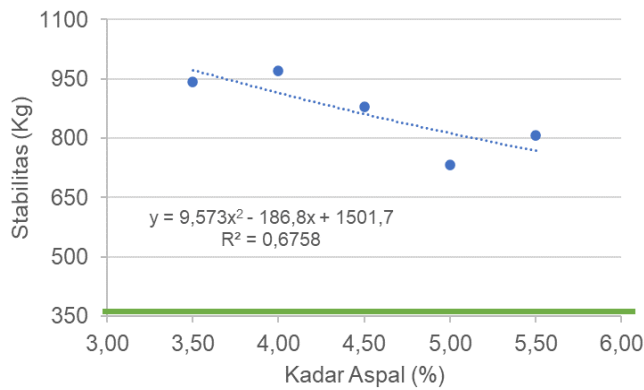
Sieve	Ukuran Saringan (mm)	Persentase Agregat Lolos (%)	Hasil (%)
$\frac{3}{4}$ "	19	100	100
$\frac{1}{2}$ "	13,2	90	96,4033
$\frac{3}{8}$ "	9,5	-	59,8833
No.4	4,75	11	23,2983
No.8	2,36	10	17,8350
No.200	0,075	3	3,0417

Dari tabel 7 terlihat bahwa gradasi agregat memenuhi persyaratan persentase lolos serta diperoleh juga nilai kadar aspal rencana yaitu 4,5%.

4. Hasil Pengujian *Marshall*

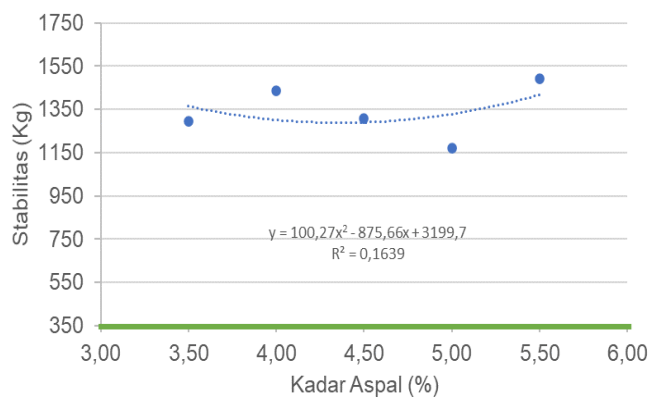
**Gambar 3.** Grafik VIM dengan *Filler* CaCO₃

Dari gambar 3 dapat disimpulkan bahwa nilai kadar aspal dan VIM berbanding terbalik yang artinya, semakin tinggi nilai kadar aspalnya maka nilai VIM akan semakin berkurang. Kadar aspal dari grafik diatas terlihat memenuhi persyaratan nilai VIM yaitu >18%.



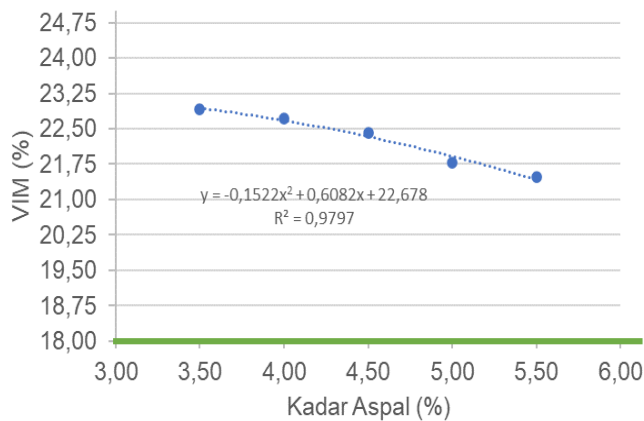
Gambar 4. Grafik Stabilitas dengan *Filler* CaCO₃

Dari gambar 4 dapat disimpulkan bahwa nilai stabilitas aspal porus tertinggi terlihat pada kadar aspal 4%. Garis batas hijau menunjukkan batas bawah stabilitas aspal porus yaitu 350 kg.



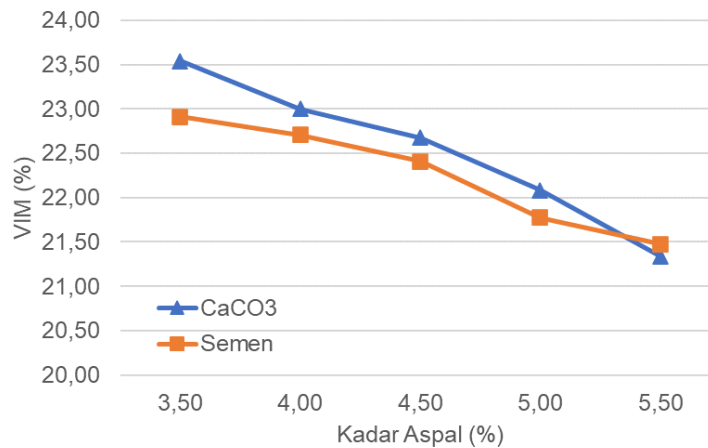
Gambar 5. Grafik VIM dengan *Filler* Semen *Portland*

Dari gambar 5 dapat disimpulkan bahwa nilai kadar aspal dan VIM berbanding terbalik yang artinya, semakin tinggi nilai kadar aspalnya maka semakin rendah nilai VIM. Pada gambar diatas terlihat bahwa semua kadar aspal memenuhi persyaratan VIM yaitu >18%.



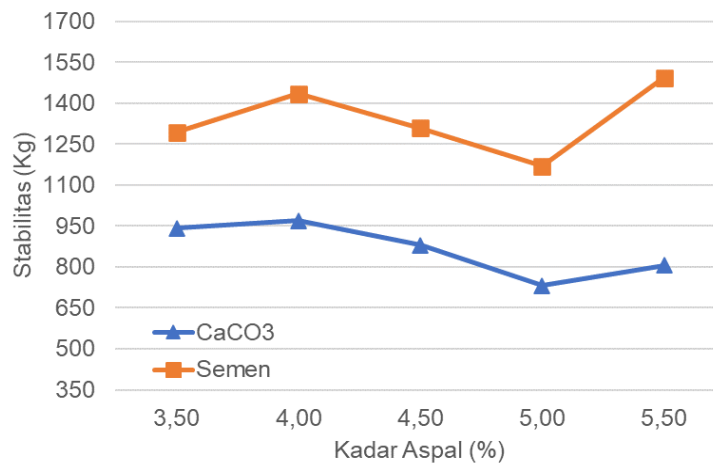
Gambar 6. Grafik Stabilitas dengan *Filler* Semen *Portland*

Dari gambar 6 dapat disimpulkan bahwa nilai stabilitas aspal porus yang tertinggi terlihat pada kadar aspal 5,5%. Garis batas hijau menunjukkan batas minimum stabilitas aspal porus yaitu 350 kg.



Gambar 7. Grafik Perbandingan Nilai VIM

Pada gambar 7 dapat disimpulkan bahwa filler semen Portland memiliki nilai VIM yang lebih rendah dibandingkan filler CaCO₃, menurut penulis ini dikarenakan persentase lolos saringan no.200 filler semen lebih besar dibandingkan dengan filler CaCO₃ sehingga rongga udara yang tertutup lebih banyak.



Gambar 8. Grafik Perbandingan Nilai Stabilitas

Pada gambar 8 dapat disimpulkan bahwa perbandingan nilai stabilitas tertinggi terlihat pada kadar aspal 5,5% dengan selisih perbandingan 85% lebih tinggi dari nilai stabilitas filler CaCO₃ kadar 5,5%.

Tabel 8. Analisis KAO Filler CaCO₃

Stabilitas (Kg)	Min 350	941,36	969,95	880,36	731,11	806,29
VIM (%)	Around 20	23,54	23,00	22,68	22,09	21,34
Kadar Aspal (%)		3,5	4	4,5	5	5,5

Pada tabel 8 terlihat nilai KAO untuk campuran aspal porus dengan filler CaCO₃ adalah kadar aspal 4%, Kesimpulan ini diambil berdasarkan nilai VIM dan stabilitas yang diperoleh.

Tabel 9. Analisis KAO *Filler* Semen *Portland*

Stabilitas (Kg)	Min 350	1293,23	1435,17	1308,24	1169,72	1492,93
VIM (%)	Around 20	22,91	22,71	22,41	21,78	21,47
Kadar Aspal (%)		3,5	4	4,5	5	5,5

Pada tabel 9 terlihat nilai KAO untuk campuran aspal porus dengan *filler* semen *Portland* adalah kadar aspal 5,5%. Namun, hampir sama seperti yang penulis jelaskan sebelumnya pada gambar 16, nilai KAO yang diperoleh 5,5% belum tentu merupakan data yang akurat dikarenakan kurangnya sampel benda uji yang dibuat sehingga masih banyak kemungkinan yang bisa terjadi. Berdasarkan tabel 35 pula kita masih dapat memperhitungkan kemungkinan kadar aspal 4% sebagai KAO.

KESIMPULAN

Hasil analisis data yang didapat dalam penelitian ini akan dijabarkan menjadi:

1. Perbandingan karakteristik *Marshall Test* yang diperoleh antara *filler* semen *Portland* dan Kalsium Karbonat (CaCO_3) adalah, aspal porus dengan *filler* CaCO_3 menghasilkan nilai stabilitas yang lebih rendah dibanding dengan *filler* semen *Portland*, dan rongga udara yang dihasilkan (VIM) dengan menggunakan *filler* CaCO_3 lebih besar daripada *filler* semen *Portland*.
2. Aspal porus dengan standar Jepang (*Japan Road Association, 2019*) berdasarkan hasil VIM dan stabilitas, nilai KAO campuran aspal porus dengan *filler* CaCO_3 adalah 4%.

SARAN

Berlandaskan hasil penelitian, penulis mengusulkan agar dapat dilakukan penelitian yang lebih mendalam seperti:

1. Penambahan Kalsium Karbonat (CaCO_3) sebagai *filler* dapat dicoba hingga persentase maksimal (3%).
2. Memvariasikan kadar *filler* untuk mengetahui pengaruh CaCO_3 jika dicampur bersamaan dengan semen *Portland*.
3. Dapat digunakan agregat dengan ukuran lebih kecil agar rongga udara pada campuran tidak terlalu besar.
4. Dalam pembuatan benda uji dapat ditambah kuantitasnya agar data yang didapatkan lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. (1991). *Metode Pengujian Kehilangan Berat Minyak dan Aspal dengan Cara A* (SNI 06-2440-1991). Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). *Cara Uji Berat Jenis Aspal Keras* (SNI 2441:2011). Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). *Cara Uji Daktilitas Aspal* (SNI 2432:2011). Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). *Cara Uji Penetrasi Aspal* (SNI 2456:2011). Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). *Cara Uji Titik Lembek Aspal dengan Alat Cincin dan Bola (Ring and Ball)* (SNI 2434:2011). Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). *Cara Uji Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal dengan Alat Cleveland Open Cup* (SNI 2433:2011). Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). *Metode Uji Untuk Analisis Saringan Agregat Halus dan Agregat Kasar* (SNI ASTM C136:2012). Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2015). *Cara Uji Kelarutan Aspal* (SNI 2438:2015). Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Djumari, Sarwono, D. (2009). *Perencanaan Gradasi Aspal Porus Menggunakan Material Lokal dengan Pemampatan Kering*. (Online), (<https://media.neliti.com/media/publications/151649-ID-perencanaan-gradasi-aspal-porus-mengguna.pdf>, diakses 20 Juli 2023)
- Kalalo, A. (2018). *Uji Marshall Terhadap Aspal AC-WC dengan Standar Bina Marga dan Aspal Porus Dengan Standar Australia*. Makassar: Program Studi Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Makassar.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2018). *Divisi 6 Perkerasan Aspal Revisi 2*. Jakarta: Bina Marga.

- Nakanishi, H., Hamzah, M.O., Mohd Hasan, M.R., Karthigeyan, P., Shaur, O. (2019). *Mix Design and Application of Porous Asphalt Pavement using Japanese Technology*. (Online), (<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/512/1/012026>, diakses 3 April 2023).
- Naufali, R.F. (2018). *Pengaruh Variasi Serabut Kelapa Terhadap Karakteristik Marshall pada Aspal Porus*. (Online), (<https://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=703402&val=6475&title=PENGARUH%20VARIASI%20KADAR%20DAN%20PANJANG%20SERABUT%20KELAPA%20TERHADAP%20OKARAKTERISTIK%20MARSHALL%20PADA%20ASPAL%20PORUS>, diakses 08 April 2023).
- Saadang, H. (2010). *Konstruksi Jalan Raya*, Jilid Pertama. Penerbit Nova. Bandung.
- Sembung, N.T., Sendow, T.K., Palenewen, S. (2020). *Analisa Campuran Aspal Porus Menggunakan Material dari Kakaskasen Kecamatan Tomohon Utara Kota Tomohon*. (Online), (<https://ejournal.unsrat.ac.id>, diakses 5 April 2023).
- Shahin. (1990). *Pavement Maintenance Management for Road and Streets Using The Paver System*. New York: US Army Corps of Engineer.
- Shimeno, S., Tanaka, T. (2010). *Evaluation and Further Development of Porous Asphalt Pavement with 10 Years Experience in Japanese Expressways*. (Online), (http://data.abacus.hr/h-a-d/radovi_s_kongresa/nagoya_japan_2010/90049.pdf, diakses 30 Juni 2023).
- Silvia, S. (2003). *Beton Aspal Campuran Panas*. (Online), (<http://ebook.itenas.ac.id/repository/9df74dd5f5afcf366e0fffb21e5a8a92.pdf>, diakses 7 Juni 2023).
- Sulianti, I., Amirrudin, A., Ibrahim, I., Subrianto, A. (2019). *Optimizing Mixture Composition to Improve the Performance of Porous Asphalt for Wearing Course as an Environmentally Friendly Road Construction Material*. (Online), (<https://journal.unnes.ac.id>, diakses 11 April 2023).
- Wardana, H.W., Mahardi, P., Risdianto, Y. (2020). *Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) Dalam Campuran Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) Dengan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat*. (Online), (<https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/rekayasa-teknik-sipil/article/view/34680>, diakses 09 April 2023).