

ANALISIS KARAKTERISTIK CAMPURAN ASPAL BETON LAPIS AUS (AC-WC) DENGAN MENGGUNAKAN KALSIMUM KARBONAT SEBAGAI *FILLER*

Dwi Ratna Esti Lestari

Program Studi S1 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
dwiratnae11405@gmail.com

Yogie Risdianto

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
yogierisdianto@unesa.ac.id

Abstrak

Kualitas perkerasan jalan perlu diperhatikan dengan baik karena berfungsi untuk menudukung dan menyebarkan beban lalu lintas yang seiring dengan pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor semakin meningkat. Peningkatan kualitas perkerasan jalan salah satunya dapat dilakukan dengan substitusi bahan pengisi (*filler*).

Bahan pengisi (*filler*) adalah komponen berpersentase terkecil, namun memiliki fungsi yang krusial dalam modifikasi gradasi agregat sehingga kepadatan campuran bisa meningkat. Pemilihan bahan pengisi (*filler*) dalam konstruksi perkerasan jalan harus mempertimbangkan efisiensi biaya tanpa menyalahi spesifikasi umum Bina Marga tahun 2018 (Revisi 2). Biaya operasional dapat diminimalisasi salah satunya dengan cara menggunakan kalsium karbonat (CaCO_3) sebagai substitusi dari semen Portland. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan kalsium karbonat (CaCO_3) yang diharapkan dapat terjadi peningkatan ketahanan campuran aspal beton.

Adapun tahapan penelitian ini diawali dengan mempersiapkan alat dan bahan, lalu dilanjutkan dengan pemeriksaan sifat-sifat fisis material yang digunakan, perencanaan campuran aspal beton, lalu pembuatan benda uji dengan variasi kadar aspal yaitu 4,6%; 5,1%; 5,6%; 6,1%; dan 6,6% untuk selanjutnya didapatkan kadar aspal optimum (KAO), kemudian pembuatan benda uji variasi bahan pengisi (*filler*) yaitu 0%; 0,4%; 0,8%; 1,2%; 1,6%; dan 2,0% dengan menggunakan aspal penetrasi 60/70 pada campuran AC-WC. Dari hasil penelitian didapatkan nilai KAO pada kadar aspal 5,1% dan variasi bahan pengisi (*filler*) terbaik pada komposisi 1,2%. Campuran terbaik dengan karakteristik yaitu nilai stabilitas 1512,5 kg; kelelahan 3,6; durabilitas 90,09%; VIM 4,68; VAM 12,02; VFA 61,08%, dan MQ 416,3 kg memenuhi parameter Marshall kecuali rongga agregat (VMA) dan rongga terisi aspal (VFA), sesuai dengan spesifikasi umum Bina Marga tahun 2018 (Revisi 2).

Kata Kunci: AC-WC, *filler*, kalsium karbonat, parameter Marshall, spesifikasi umum Bina Marga.

Abstract

The quality of the road pavement needs to be considered properly because it functions to support and spread the traffic load which is in line with the growth in the number of motorized vehicles. One of the ways to improve the road pavement quality can be done by substitution of filler.

Filler is a component with the smallest percentage besides asphalt but has a critical function of modifying the gradation of aggregate so that the density of the mixture can be increased. Therefore, choosing filler for road pavement construction material must consider cost efficiency without violating the general specifications of Bina Marga in 2018 (Revised 2). One effort to minimize operational costs is to use calcium carbonate (CaCO_3) as a substitute for Portland cement. Therefore, this study was conducted to determine the effect of using calcium carbonate (CaCO_3), which is expected to increase the resistance of asphalt-concrete mixtures.

The stages of this research begin with preparing tools and materials, then proceed with examining the physical properties of the materials used, planning for asphalt-concrete mixtures, then making test objects with variations in asphalt content which are 4,6%; 5,1%; 5,6%; 6,1%; and 6,6% to determine the optimum asphalt content (KAO), followed by the manufacture of various fillers with a composition of 0%; 0,4%; 0,8%; 1,2%; 1,6%; and 2,0% by using asphalt penetration 60/70 on the AC-WC mixture. The results showed that the KAO value was obtained at 5,1% asphalt content, and the best filler variation was at 1,2%. The best mixture with the characteristics of stability value is 1512,5 kg; flow 3,6; durability 90,09%; VIM 4,68; VAM 12,02; VFA 61,08%, and MQ 416,3 kg meet Marshall parameters except for aggregate voids (VMA) and voids filled with asphalt (VFA), in accordance with the general specifications of Bina Marga 2018 (Revised 2).

Keywords: AC-WC, filler, calcium carbonate, Marshall parameter, general specification of Bina Marga.

PENDAHULUAN

Jalan sebagai bagian dari prasarana perhubungan darat memiliki peran krusial untuk meningkatkan kesejahteraan dan kualitas hidup masyarakat. Ketersediaan jalan adalah mutlak untuk mobilitas masyarakat, maka dari itu perlu perencanaan struktur perkerasan jalan yang kuat dan tahan lama.

Peningkatan kualitas perkerasan jalan salah satunya dapat dilakukan dengan substitusi bahan pengisi (*filler*). Bahan pengisi (*filler*) adalah komponen berpersentase terkecil, namun memiliki fungsi yang krusial dalam modifikasi gradasi agregat halus sehingga kepadatan campuran dapat meningkat.

Pemilihan bahan pengisi (*filler*) dalam konstruksi perkerasan jalan harus mempertimbangkan efisiensi biaya tanpa menyalahi spesifikasi umum Bina Marga tahun 2018 (Revisi 2). Salah satu upayanya yaitu dengan menggunakan kalsium karbonat (CaCO_3) sebagai substitusi dari semen Portland (PC), karena bahan dasar penyusun PC adalah kapur (CaO) sebesar 60-65% dari komposisi total dan kalsium karbonat (CaCO_3) tersedia secara komersial dengan harga yang cenderung lebih murah. Kalsium karbonat (CaCO_3) biasa dimanfaatkan dalam bidang konstruksi sebagai bahan perekat batu bata, atap sirap, balok beton, hingga ubin.

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan kalsium karbonat (CaCO_3) sebagai bahan pengisi (*filler*) pada campuran aspal beton lapis aus (AC-WC).

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian dan Material yang digunakan

Lokasi penelitian ini adalah Laboratorium PT. Gorga Marga Mandiri pada proyek Jalan Lintas Selatan Lot 6. Adapun material yang diperlukan antara lain yaitu agregat kasar, agregat halus, kalsium karbonat (CaCO_3), semen Portland, dan aspal. Agregat kasar dan agregat halus yang digunakan berasal dari *quarry* PT. Gorga Marga Mandiri pada proyek Jalan Lintas Selatan Lot 6. Untuk penggunaan *filler* yaitu kalsium karbonat (CaCO_3) dan semen Portland tipe I produksi PT. Semen Gresik. Penggunaan aspal dalam penelitian ini yaitu produksi PT. Pertamina berupa aspal keras penetrasi 60/70.

Prosedur Kerja

1. Persiapan Alat dan Bahan

Persiapan alat-alat yang dibutuhkan antara lain adalah *pan*, saringan, *oven*, timbangan, termometer, bak air, lap, mesin penumbuk, *extruder*, *water bath*, alat marshall (profil ring), cincin penekan, pengukur *flow*, dan lain sebagainya. Adapun bahan-bahan yang diperlukan antara lain adalah aspal pen. 60/70, agregat kasar, agregat halus, kalsium karbonat, dan semen Portland tipe I.

a. Agregat

Agregat adalah hasil alam atau buatan berupa sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lainnya. Komponen utama penyusun struktur perkerasan jalan adalah agregat, sebanyak 90-95%

presentase berat atau 75-80% presentase volume (Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan, 1989).

Agregat yang dipakai sebagai salah satu bahan pada campuran aspal beton lapis aus (AC-WC) harus dalam kondisi tanpa bahan organik, kotoran, atau bahan lain yang tidak dikehendaki untuk menghindari penurunan kualitas perkerasan jalan.

- 1) Agregat kasar yaitu agregat yang lolos ayakan $\frac{3}{4}$ " dan tertahan ayakan No. 4 dari batu pecah (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018).
- 2) Agregat halus yaitu terdiri dari hasil pengayakan batu pecah atau pasir yang lolos ayakan No. 4 dan tertahan ayakan No. 200 (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018).

b. Aspal

Aspal adalah bahan bersifat plastis hingga cair berwarna hitam hasil eksplorasi alam yang komponen utamanya adalah hidrokarbon (Saodang, 2005). Aspal berfungsi sebagai:

- 1) Bahan pengikat, pemberi ikatan antara aspal dan agregat serta antar aspal;
- 2) Bahan pengisi pori-pori dalam butir agregat dan mengisi rongga antar butir agregat.

c. Kalsium Karbonat (CaCO_3) sebagai Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi (*filler*) merupakan bahan non-plastis dengan setidaknya 75% terhadap berat total lolos ayakan No. 200. Bahan pengisi (*filler*), merupakan bahan campuran pengisi ruang antara agregat kasar dan agregat halus sehingga terjadi pengurangan volume pori, peningkatan kepadatan, dan penurunan permeabilitas campuran aspal beton (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2019).

Parameter butiran pada bahan pengisi (*filler*) berukuran kecil, namun memiliki permukaan yang luas. Efek dari kadar *filler* terhadap campuran aspal beton yaitu dapat mempengaruhi karakteristik campuran aspal beton. Sifat elastisitas dan sensitifitas dari campuran aspal beton terhadap air juga dipengaruhi oleh *filler* (Totomihardjo, 2004).

Kalsium karbonat (CaCO_3) biasa ditemui pada batu di seluruh bagian dunia adalah senyawa mineral anorganik. Selain itu kalsium karbonat adalah komponen utama dari kulit telur, siput, bola arang, dan organisme laut. Kalsium karbonat (CaCO_3) biasa dimanfaatkan dalam bidang konstruksi sebagai bahan perekat batu bata, atap sirap, balok beton, hingga ubin.

2. Pemeriksaan Sifat-Sifat Fisis Material yang digunakan

Material yang digunakan dalam campuran sebelumnya perlu dilakukan pemeriksaan sifat-sifat fisis untuk mengetahui terpenuhi atau tidaknya spesifikasi. Agregat dilakukan pemeriksaan analisis ayakan, berat isi, berat jenis dan penyerapan, kadar lumpur, serta keausan. Aspal penetrasi 60/70 dilakukan pemeriksaan penetrasi, berat jenis, titik leleh, dan daktilitas. Bahan pengisi (*filler*) dilakukan pemeriksaan analisis ayakan dan berat jenis.

3. Perencanaan Campuran Aspal Beton

a. Pemilihan gradasi agregat

Besarnya rongga atau pori pada campuran aspal beton ditentukan oleh gradasi agregat. Penyusunan butir agregat ditentukan dari hasil pemeriksaan analisis ayakan agregat.

b. Penentuan variasi kadar aspal

Penentuan variasi kadar aspal diperoleh dari kadar aspal ideal atau kadar aspal awal perkiraan, dapat dihitung dengan persamaan (Siswadi, 2019):

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

Keterangan:

P_b = kadar aspal ideal;

C = %agregat tertahan ayakan No.4;

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

$Fill$ = %agregat lolos saringan No.200;

K = nilai konstanta (0,5 – 1,0).

c. Penentuan variasi filler

Penentuan variasi filler bersumber pada spesifikasi umum Bina Marga tahun 2018 (Revisi 2), yaitu antara 0-2,0%.

4. Pembuatan Benda Uji

a. Benda uji Kadar Aspal Optimum (KAO)

Variasi kadar aspal yang dipakai sebanyak 5 variasi, yaitu dengan masing-masing berbeda 0,5%. Seandainya kadar aspal awal perkiraan adalah $x\%$, maka variasi kadar aspal yang digunakan adalah $(x-1,0)\%$; $(x-0,5)\%$; $x\%$; $(x+0,5)\%$; dan $(x+1,0)\%$.

b. Benda uji substitusi variasi filler

Variasi persentase filler yang dipakai yaitu sebanyak 6 variasi dengan masing-masing berbeda 0,4%. Variasi persentase filler yang digunakan adalah 0%; 0,4%; 0,8%; 1,2%; 1,6%; dan 2,0%.

5. Pengujian Marshall

Pengujian dengan metode Marshall adalah tahapan yang esensial dalam menentukan karakteristik campuran aspal beton. Rancangan campuran aspal beton diuji menggunakan alat Marshall (profil ring) dengan metode empiris (Sukirman, 2003).

Parameter Marshall untuk campuran aspal beton yaitu stabilitas (*stability*), durabilitas (*durability*), kelelahan plastis (*flow*), kepadatan (*density*), rongga dalam campuran (VIM), rongga dalam mineral agregat (VMA), rongga terisi aspal (VFA), dan marshall quotient (MQ).

a. Stabilitas (*stability*)

Stabilitas adalah kemampuan campuran aspal beton menerima beban tanpa diikuti perubahan bentuk seperti gelombang, alur, ataupun *bleeding*. Stabilitas dinyatakan dalam kilogram atau pound. Adapun kualitas, bentuk dan tekstur permukaan butiran agregat berpengaruh terhadap

nilai stabilitas. Besarnya nilai stabilitas dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$S = t \times u \times v$$

Keterangan:

S = Stabilitas (kg);

t = kalibrasi alat Marshall;

u = Pembacaan dial stabilitas;

v = koreksi benda uji.

b. Durabilitas (*durability*)

Durabilitas adalah sifat yang menggambarkan kemampuan campuran aspal beton dalam menahan keausan yang diakibatkan oleh repetisi beban, perubahan suhu, pengaruh cuaca, udara, dan air (Sukirman, 2003). Nilai durabilitas dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$D = \frac{S_{24 \text{ jam}}}{S_{\text{normal}}} \times 100\%$$

Keterangan:

D = durabilitas;

$S_{24 \text{ jam}}$ = nilai stabilitas lama perendaman 24 jam;

S_{normal} = nilai stabilitas lama perendaman ½ jam.

Nilai durabilitas yang baik (>90%) pada campuran dipenuhi apabila:

- 1) Film aspal atau selimut aspal yang tebal, tetapi hati-hati dengan kemungkinan terjadinya *bleeding* yang meningkat;
- 2) Nilai VIM yang cukup, apabila nilai VIM terlalu rendah menyebabkan campuran cenderung lebih rapuh.
- 3) Nilai VMA yang cukup, apabila nilai VMA terlalu rendah menyebabkan campuran rentan terhadap perubahan kadar aspal sedangkan nilai VMA yang terlalu tinggi menyebabkan campuran tidak penurunan nilai stabilitas.

c. Kelelahan (*flow*)

Kelelahan plastis terjadi akibat suatu beban adalah besarnya perubahan bentuk (deformasi) vertikal campuran aspal beton sampai dengan batas keruntuhan atau nilai maksimumnya (Sukirman, 2003).

Nilai kelelahan (*flow*) dapat dibaca secara langsung saat dilakukan pengujian pada *dial flow*, yang dinyatakan dalam milimeter atau 0,01". Kadar aspal, viskositas aspal, gradasi agregat, dan temperatur saat pemadatan mempengaruhi nilai kelelahan (*flow*).

d. Kepadatan (*density*)

Kepadatan (*density*) didapat dengan cara membandingkan berat kering benda uji dengan berat air pada volume yang sama (Sukirman, 2003).

Kualitas aspal, kadar aspal, jenis fraksi agregat, dan suhu saat pemadatan mempengaruhi tingkat kerapatan campuran aspal beton. Kepadatan (*density*) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$GMM = \frac{d}{(e-f)}$$

Keterangan:

- GMM = *density* (gr/cm³);
- d = berat kering (gr);
- e = berat jenuh kering permukaan (gr);
- f = berat dalam air (gr).

e. Rongga dalam Campuran (*Void in Mixture*)

VIM merupakan parameter yang menunjukkan volume rongga atau pori berisi udara dalam campuran, dinyatakan dalam persen (%). Rongga dalam campuran (VIM) diperlukan untuk ruang pergeseran agregat saat repetisi beban atau pemadatan berlebih. Rongga dalam campuran (VIM) dihitung dengan persamaan berikut:

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

Keterangan:

- VIM = pori berisi udara dalam campuran (%);
- Gmm = *density* (gr/cm³);
- Gmb = berat jenis campuran padat (gr/cm³).

f. Rongga dalam Mineral Agregat (*Void in Mineral Aggregate*)

VMA merupakan volume rongga antar partikel agregat suatu campuran yang sudah melalui pemadatan, dinyatakan dalam persen (%) (Hadiyatmo, 2015). Rongga dalam mineral agregat (VMA) dihitung dengan persamaan berikut:

$$VMA = 100 - \frac{Gmm}{Gsb} \times \frac{100}{(100+Pb)} \times 100$$

Keterangan:

- VMA = pori dalam mineral agregat (%);
- Gsb = berat jenis *bulk* agregat (gr/cm³);
- Gmm = *density* (gr/cm³);
- Pb = kadar aspal terhadap berat total (%).

g. Rongga terisi Aspal (*Void Filled by Asphalt*)

VFA merupakan volume pori suatu campuran padat yang terselimuti atau terisi aspal (Sukirman, 2003). Besarnya nilai rongga terisi aspal dapat dihitung dengan persamaan berikut:

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

Keterangan:

- VFA = pori terisi aspal (%);
- Gmm = *density* (gr/cm³);
- VMA = pori dalam mineral agregat (%);
- VIM = pori berisi udara dalam campuran (%).

h. Marshall Quotient (MQ)

Nilai Marshall quotient dapat dihitung dengan cara membandingkan nilai stabilitas dengan kelelahan plastis (*flow*) dengan persamaan berikut (Bukhari, 2007):

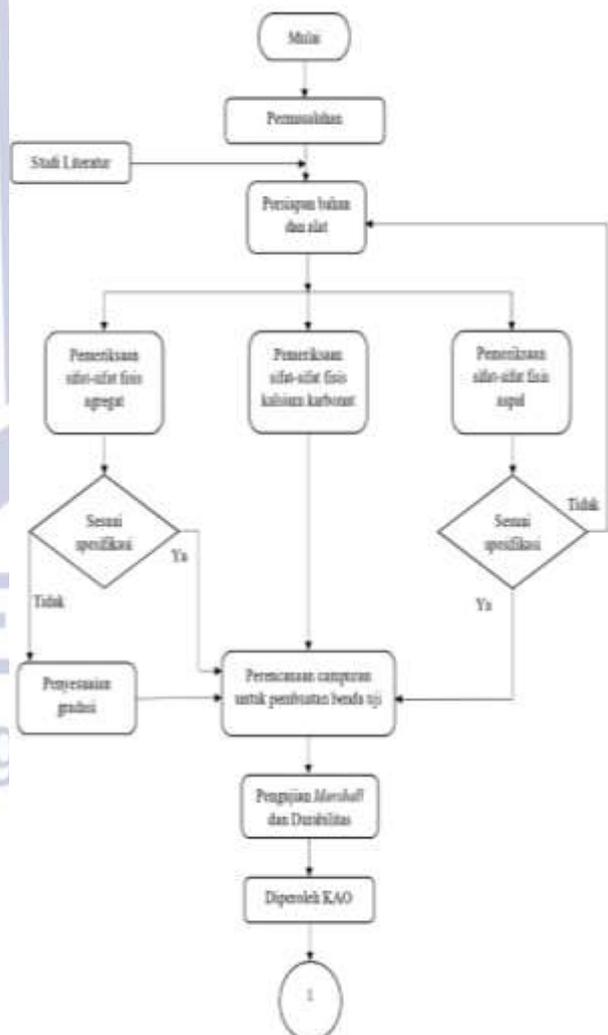
$$MQ = \frac{S}{flow}$$

Keterangan:

- MQ = nilai Marshall *quotient* (kg/mm);
- S = nilai stabilitas (kg);
- flow* = pembacaan *dial flow* (mm).

6. Perhitungan Data

Data hasil pengujian di laboratorium disajikan dalam bentuk tabel hasil pengujian, tabel hasil perhitungan, dan grafik. Lalu ditarik kesimpulan terpenuhi atau tidaknya persyaratan dari parameter yang diuji.





HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Sifat Fisis Agregat

Pengujian sifat-sifat fisis agregat meliputi: pemeriksaan analisis ayakan, berat isi, berat jenis dan penyerapan, kadar lumpur, serta keausan. Hasil pemeriksaan sifat-sifat fisis agregat dilampirkan pada Tabel 1

Tabel 1. Hasil pengujian sifat fisis agregat

No.	Sifat fisis yang diperiksa	Satuan	Hasil	Syarat
1.	Berat jenis	gr/cm ³	CA	Min. 2,5
	MA		2,543	
	FA		2,566	
2.	Penyerapan	%	CA	Maks. 3,0
	MA		2,998	
	FA		2,543	
3.	Berat isi	gr/cm ³	CA	Min. 1,0
	MA		1,150	
	FA		1,240	
4.	Kadar lumpur	%	CA	Maks. 4,0
	MA		1,061	
	FA		3,729	
5.	Keausan	%	17,56	Maks. 40

(Sumber: Data penelitian, 2022)

Dari Tabel 1. dapat disimpulkan bahwa sifat-sifat fisis agregat telah memenuhi spesifikasi dan agregat dapat digunakan untuk campuran aspal beton.

Hasil Pengujian Sifat-Sifat Fisis Kalsium Karbonat (CaCO₃) sebagai Filler

Pemeriksaan kalsium karbonat (CaCO₃) yang dilakukan yaitu: pemeriksaan berat jenis dan analisa ayakan. Hasil pemeriksaan sifat-sifat kalsium karbonat (CaCO₃) dilampirkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian sifat fisis filler

No.	Sifat fisis yang diperiksa	Satuan	Hasil	Syarat
1.	Berat jenis	gr/cm ³	2,817	-
2.	Lolos saringan No. 200	%	100	Min. 75%

(Sumber: Data penelitian, 2022)

Hasil Pengujian Sifat Fisis Aspal

Pemeriksaan aspal pen. 60/70 yang dilakukan yaitu meliputi: pemeriksaan berat jenis, penetrasi, titik lembek, serta daktilitas. Hasil pemeriksaan sifat-sifat fisis aspal dilampirkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian sifat-sifat fisis aspal

No.	Sifat fisis yang diperiksa	Satuan	Hasil	Persyaratan
1.	Berat jenis	gr/cm ³	1,032	Min. 1,0
2.	Penetrasi	mm	64,7	60-70
3.	Titik lembek	°C	53,5	Min. 48
4.	Daktilitas	cm	140,5	Min. 100

(Sumber: Data penelitian, 2022)

Dari Tabel 3. dapat disimpulkan bahwa hasil pemeriksaan sifat-sifat fisis aspal pen. 60/70 memenuhi spesifikasi dan aspal dapat digunakan untuk campuran aspal beton.

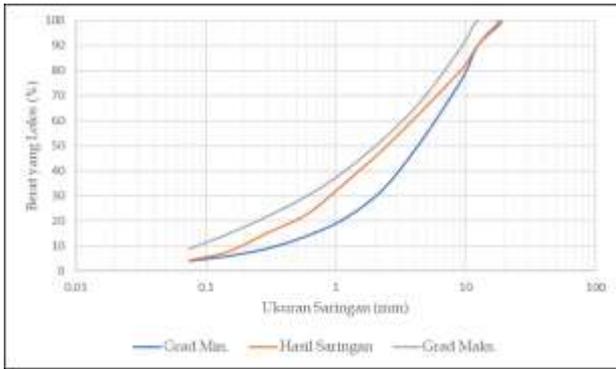
Hasil Pemeriksaan Gradasi

Pemeriksaan gradasi dilakukan menggunakan analisis ayakan. Gradasi yang digunakan adalah gradasi menerus untuk campuran laston lapis aus (AC-WC) sesuai dengan spesifikasi umum Bina Marga 2018 (Revisi 2), dilampirkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil pemeriksaan gradasi agregat

Ayakan	Ukuran		Rencana	Persyaratan
	ASTM	(mm)		
1½"		37,5		
1"		25		
¾"		19	100	100
½"		12,5	90,10	90 – 100
⅜"		9,5	80,84	77 – 90
No.4		4,75	64,57	53 – 69
No.8		2,36	48,89	33 – 53
No.16		1,18	35,12	21 – 40
No.30		0,600	22,67	14 – 30
No.50		0,300	15,33	9 – 22
No.100		0,150	7,85	6 – 15
No.200		0,075	4,34	4 – 9

(Sumber: Data penelitian, 2022)



Gambar 1. Grafik Gradasi Agregat untuk Benda Uji

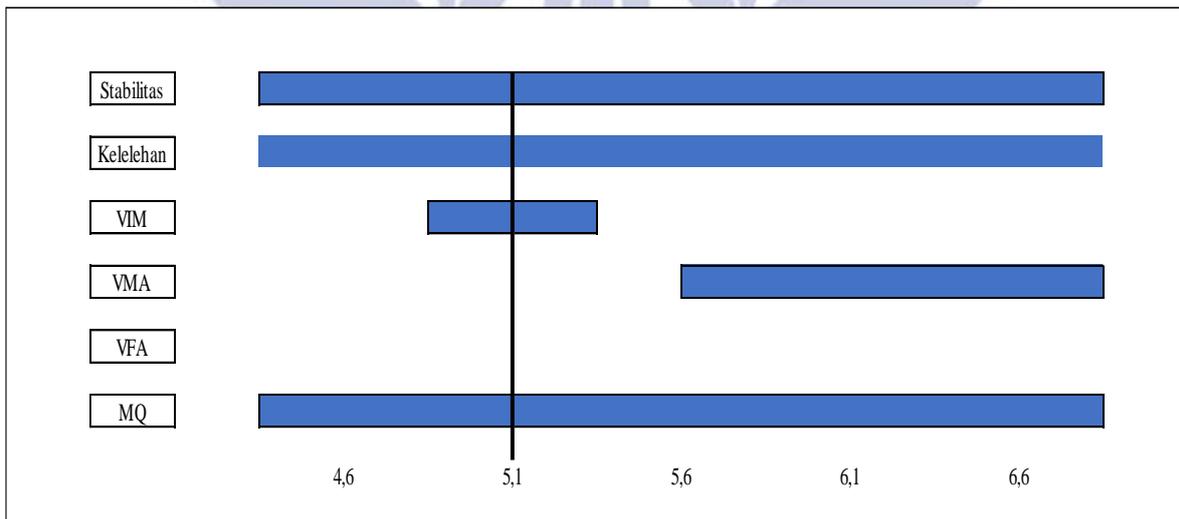
Hasil Pengujian Marshall Variasi Kadar Aspal untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Nilai kadar aspal optimum (KAO) ditentukan dengan melihat parameter Marshall hasil pengujian benda uji, antara lain: stabilitas, kelelahan, VIM, VMA, VFA, dan Marshall Quotient. Campuran benda uji menggunakan agregat, *filler* kalsium karbonat, dan aspal pen. 60/70 dengan variasi kadar aspal yang digunakan yaitu 4,6%; 5,1%; 5,6%; 6,1%; dan 6,6%. Hasil pengujian penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) dilampirkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil pengujian parameter Marshall untuk penentuan KAO
Standar pengujian: AASHTO – T.245-97
(AASHTO, 2008)

No	Karakteristik Campuran	Kadar Aspal					Spek.
		4,6	5,1	5,6	6,1	6,6	
1.	Stabilitas	1287,6	1512,5	1247,9	1186,2	1146,5	Min. 800
2.	Kelelahan	3,7	3,6	3,2	3,2	3,2	2 – 4
3.	VIM	7,32	4,68	6,54	6,83	6,60	3 – 5
4.	VMA	13,57	12,02	14,57	15,59	16,43	Min. 15
5.	VFA	46,05	61,08	53,06	56,23	59,83	Min. 65
6.	Marshall Quotient	351,6	416,3	390,0	366,9	362,1	Min. 250

(Sumber: Data penelitian, 2022)



Gambar 2. Grafik penentuan kadar aspal optimum (KAO)

Data hasil pengujian Marshall untuk variasi kadar aspal selanjutnya diplot pada grafik dengan sumbu mendatar adalah variasi kadar serta salah satu parameter Marshall pada sumbu tegak. Grafik menunjukkan bahwa kadar aspal optimum (KAO) adalah 5,1%. Persyaratan dari parameter Marshall untuk aspal beton lapis aus (AC-WC) terpenuhi kecuali rongga agregat (VMA) dan rongga terisi aspal (VFA).

Hasil Pengujian Marshall dengan Variasi Substitusi *Filler* Kalsium Karbonat (CaCO_3)

Pengujian Marshall untuk variasi substitusi *filler* menggunakan kadar aspal optimum (KAO) yang didapatkan dari hasil pengujian sebelumnya, yaitu 5,1%. Hasil pengujian parameter Marshall untuk variasi substitusi *filler* kalsium karbonat (CaCO_3) dilampirkan pada Tabel 6.

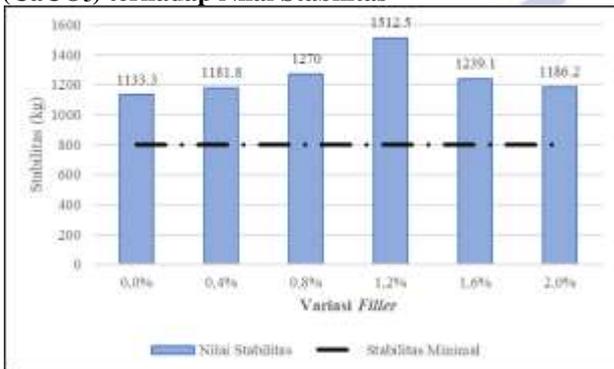
Tabel 6. Hasil pengujian parameter Marshall untuk variasi substitusi *filler*
Standar pengujian: AASHTO – T.245-97 (AASHTO, 2008)

No	Karakteristik Campuran	Variasi Filler						Spek.
		0,0%	0,4%	0,8%	1,2%	1,6%	2,0%	
1.	Stabilitas	1133,3	1181,8	1270,0	1512,5	1239,1	1186,2	Min. 800
2.	Kelelahan	3,2	3,1	3,3	3,6	3,2	3,2	2 – 4
3.	VIM	6,82	7,09	6,58	4,68	7,29	7,97	3 – 5
4.	VMA	14,97	14,75	13,88	12,02	13,35	14,01	Min. 15
5.	VFA	54,43	51,95	52,59	61,08	45,50	43,73	Min. 65
6.	Marshall Quotient	359,8	377,2	384,8	416,3	391,3	370,7	Min. 250

(Sumber: Data penelitian, 2022)

Data hasil pengujian Marshall untuk variasi substitusi *filler* menunjukkan campuran terbaik adalah variasi *filler* 1,2% dengan kadar aspal yang digunakan adalah 5,1%.

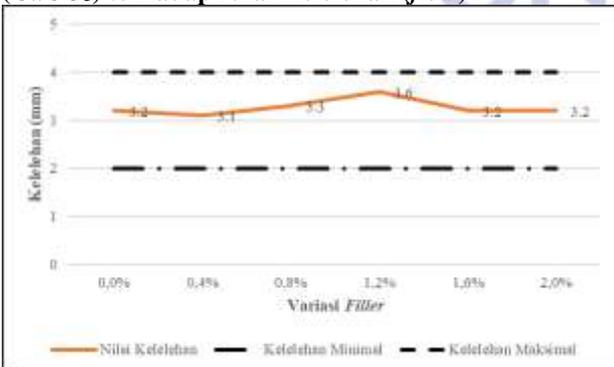
Tinjauan Variasi Substitusi *Filler* Kalsium Karbonat (CaCO_3) terhadap Nilai Stabilitas



Gambar 3. Pengaruh Kalsium Karbonat (CaCO_3) terhadap Nilai Stabilitas

Berdasarkan gambar 3 membuktikan bahwa nilai stabilitas meningkat hingga presentase *filler* 1,2% lalu menurun. Seluruh variasi *filler* memenuhi persyaratan nilai stabilitas, yaitu minimal 800 kg. Nilai stabilitas tertinggi adalah 1512,5 kg untuk variasi *filler* 1,2% dan nilai stabilitas terendah adalah 1133,3 kg untuk variasi *filler* 0,0%.

Tinjauan Variasi Substitusi *Filler* Kalsium Karbonat (CaCO_3) terhadap Nilai Kelelahan (*flow*)

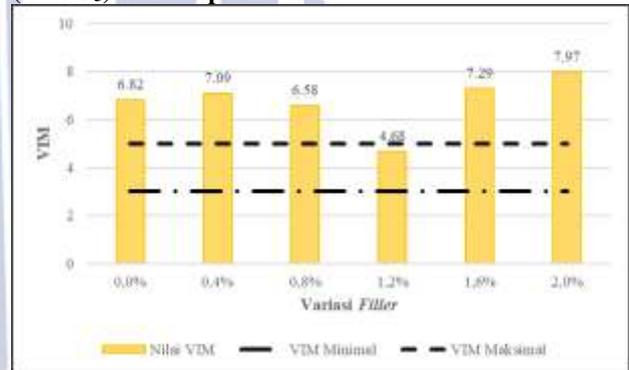


Gambar 4. Pengaruh Kalsium Karbonat (CaCO_3) terhadap Nilai Kelelahan (*flow*)

Berdasarkan gambar 4 membuktikan bahwa nilai kelelahan cenderung meningkat hingga presentase *filler* 1,2% lalu menurun. Seluruh variasi *filler* memenuhi

persyaratan nilai kelelahan, yaitu minimal 2 mm dan maksimal 4 mm. Nilai kelelahan tertinggi adalah 3,6 mm untuk variasi *filler* 1,2% dan nilai kelelahan terendah adalah 3,1 untuk variasi *filler* 0,4%.

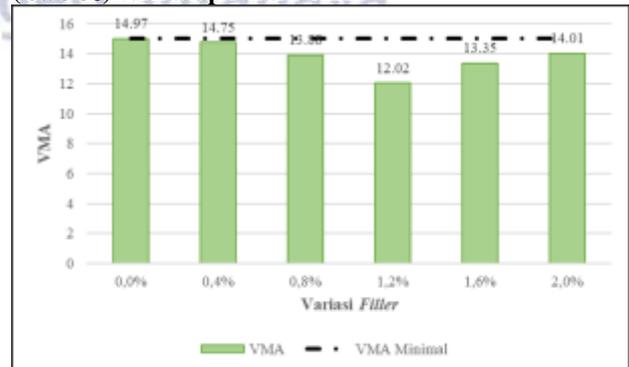
Tinjauan Variasi Substitusi *Filler* Kalsium Karbonat (CaCO_3) terhadap Nilai VIM



Gambar 5. Pengaruh Kalsium Karbonat (CaCO_3) terhadap Nilai VIM

Berdasarkan gambar 5 membuktikan bahwa nilai VIM cenderung menurun hingga presentase *filler* 1,2% lalu meningkat. Variasi *filler* yang memenuhi persyaratan nilai VIM, yaitu minimal 3 dan maksimal 5 adalah variasi *filler* 1,2% dengan nilai 4,68.

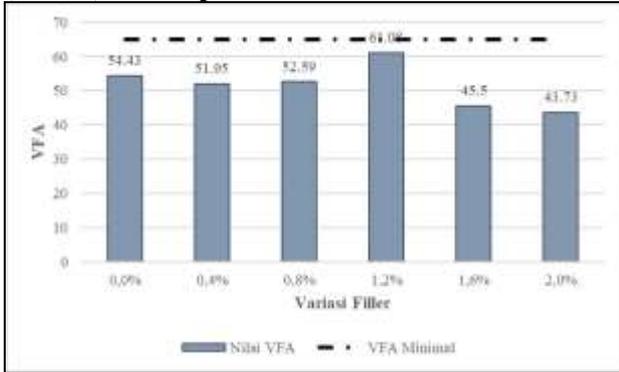
Tinjauan Variasi Substitusi *Filler* Kalsium Karbonat (CaCO_3) terhadap Nilai VMA



Gambar 6. Pengaruh Kalsium Karbonat (CaCO_3) terhadap Nilai VMA

Berdasarkan gambar 6 membuktikan bahwa nilai VMA cenderung menurun hingga presentase *filler* 1,2% lalu meningkat. Seluruh variasi *filler* tidak ada yang memenuhi persyaratan nilai VMA.

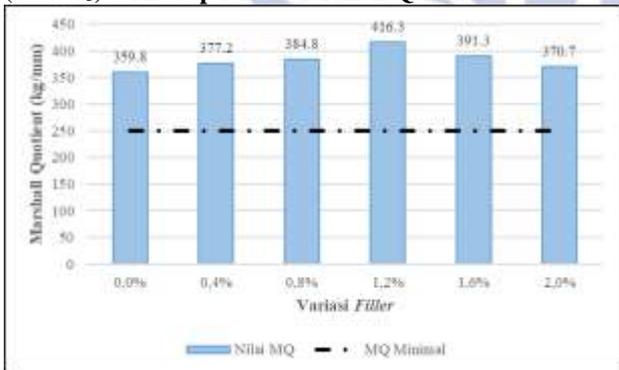
Tinjauan Variasi Substitusi *Filler* Kalsium Karbonat (CaCO₃) terhadap Nilai VFA



Gambar 7. Pengaruh Kalsium Karbonat (CaCO₃) terhadap Nilai VFA

Berdasarkan gambar 7 membuktikan bahwa nilai VFA cenderung meningkat hingga presentase *filler* 1,2% lalu menurun. Seluruh variasi *filler* tidak ada yang memenuhi persyaratan nilai VFA.

Tinjauan Variasi Substitusi *Filler* Kalsium Karbonat (CaCO₃) terhadap Nilai Marshall Quotient



Gambar 8. Pengaruh Kalsium Karbonat (CaCO₃) terhadap Nilai Marshall Quotient

Berdasarkan gambar 8 membuktikan bahwa nilai MQ meningkat hingga presentase *filler* 1,2% lalu menurun. Seluruh variasi *filler* memenuhi persyaratan nilai MQ, yaitu minimal 250 kg/mm. Nilai MQ tertinggi adalah 416,3 kg/mm untuk variasi *filler* 1,2% dan nilai MQ terendah adalah 359,8 kg/mm untuk variasi *filler* 0,0%.

Hasil Pengujian Durabilitas dengan Lama Perendaman ½ jam dan 24 jam

Pengujian durabilitas dilakukan dengan menguji campuran untuk parameter stabilitas dan kelelahan (*flow*), pada suhu 60°C dengan waktu lama perendaman ½ jam dan 24 jam. Nilai durabilitas untuk campuran aspal beton lapis aus (AC-WC), yaitu >90%. Hasil pengujian Durabilitas untuk variasi substitusi *filler* kalsium karbonat (CaCO₃) dilampirkan pada Tabel 7.

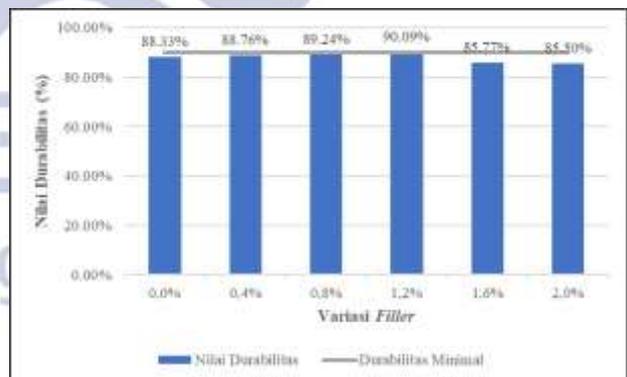
Tabel 7. Hasil rekapitulasi pengujian durabilitas

No	Jenis Campuran Aspal	½ jam	24 jam	Nilai Durabilitas (%)
1	Benda uji variasi <i>filler</i> 0% dengan KAO 5,1%	1133,3	1001,0	88,33%
2	Benda uji variasi <i>filler</i> 0,4% dengan KAO 5,1%	1181,8	1053,9	88,76%
3	Benda uji variasi <i>filler</i> 0,8% dengan KAO 5,1%	1270,0	1135,3	89,24%
4	Benda uji variasi <i>filler</i> 1,2% dengan KAO 5,1%	1512,5	1362,6	90,09%
5	Benda uji variasi <i>filler</i> 1,6% dengan KAO 5,1%	1239,1	1062,7	85,77%
6	Benda uji variasi <i>filler</i> 2,0% dengan KAO 5,1%	1186,2	1014,2	85,50%

(Sumber: Data penelitian, 2022)

Berdasarkan tabel 7, dapat disimpulkan bahwa benda uji variasi *filler* 1,2% dengan kadar aspal 5,1% merupakan campuran terbaik yang memenuhi persyaratan durabilitas yaitu minimal 90%.

Tinjauan Hasil Pengujian Durabilitas Variasi Substitusi *Filler* Kalsium Karbonat (CaCO₃) dengan Lama Perendaman ½ jam dan 24 jam



Gambar 9. Durabilitas Campuran Aspal

Berdasarkan gambar 9 membuktikan bahwa nilai durabilitas meningkat hingga presentase *filler* 1,2% lalu menurun. Variasi *filler* yang memenuhi persyaratan durabilitas, yaitu minimal 90% dengan nilai 90,09%.



Gambar 10. Benda uji sebelum perendaman



Gambar 11. Benda uji setelah pengujian stabilitas waktu perendaman ½ jam



Gambar 12. Benda uji setelah pengujian stabilitas waktu perendaman 24 jam

Gambar 10, 11, dan 12 adalah benda uji dengan variasi *filler* 0,0% dan kadar aspal 5,1%. Benda uji dengan waktu perendaman ½ jam hanya berubah bentuk menjadi pipih, sedangkan benda uji dengan waktu perendaman 24 jam mengalami perubahan bentuk yang signifikan hingga terbelah.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka penulis mendapatkan beberapa kesimpulan yaitu:

1. Hasil pemeriksaan sifat-sifat fisis agregat, kalsium karbonat (CaCO_3) sebagai bahan pengisi (*filler*), dan aspal menunjukkan terpenuhinya persyaratan dan selanjutnya dapat digunakan untuk campuran aspal beron lapis aus (AC-WC).
2. Nilai kadar aspal optimum (KAO) adalah 5,1%, untuk selanjutnya digunakan pada pengujian variasi *filler*.
3. Campuran laston lapis aus (AC-WC) terbaik menggunakan kalsium karbonat sebanyak 1,2% sebagai substitusi *filler* dan kadar aspal 5,1%; dengan karakteristik parameter Marshall yaitu nilai stabilitas

1512,5 kg; kelelahan 3,6; durabilitas 90,09%; VIM 4,68; VAM 12,02; VFA 61,08%, dan MQ 416,3 kg.

Saran

Saran yang bisa diberikan setelah melakukan penelitian ini adalah:

1. Berdasarkan hasil pengujian laboratorium, kalsium karbonat (CaCO_3) dapat digunakan untuk mensubstitusi semen tipe I sebagai bahan pengisi (*filler*), namun perlu dilakukan pengujian *core* periode 5-10 tahun untuk menguji durabilitas di lapangan.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut agar campuran aspal beton lapis aus (AC-WC) dengan kalsium karbonat sebagai bahan pengisi (*filler*) dapat memenuhi seluruh parameter Marshall yang disyaratkan.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO. (2008). *Standard Method of Test for Resistance to Plastic Flow of Bituminous Mixture Using Marshall Apparatus*. AASHTO.
- Bukhari, dkk. (2007). *Rekayasa Bahan dan Tebal Perkerasan*. Universitas Syiah Kuala.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2018). *Spesifikasi Umum 2018*. Divisi 6 Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2019). *Perancangan dan Pelaksanaan Campuran Beraspal Panas Bergradasi Menerus (Laston) Menggunakan Slag*. Divisi 6 Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Hadiyatmo, H. C. (2015). *Pemeliharaan Jalan Raya Edisi Ketiga (Ketiga)*. Gajah Mada Press.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan. (1989). *Tata Cara Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (Laston) untuk Jalan Raya*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Saodang, H. (2005). *Perancangan Perkerasan Jalan Raya*. Nova.
- Siswadi, A. (2019). *Pengaruh Abu Tempurung Kelapa sebagai Filler dan Substitusi Limbah Low Density Polyethylene (LDPE) pada Aspal Pen. 60/70 terhadap Laston AC-WC Menggunakan Batu Karang Gunung Pulau Weh*. Universitas Syiah Kuala.
- Sukirman, S. (2003). *Beton Aspal Campuran Panas*. Penerbit Granit.
- Totomihardjo, S. (2004). *Bahan dan Struktur Perkerasan Jalan Raya*. Biro Penerbit KMTS, JTS FT UGM.