

## Pemanfaatan Limbah Ampas Kopi Sebagai Subtitusi Filler Pada Sifat Campuran Aspal HRS-WC Dengan Variasi Perendaman

**Sri Anggriany Djalil, Abdul Rahim Nurdin, Ahmad Yauri Yunus**

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Bosowa

E-mail: anggrianyjl18@gmail.com

### Artikel info

**Artikel history:**

Diterima: 05-01-2025

Direvisi: 02-05-2025

Disetujui: 30-09-2025

**Abstract.** Hot Rolled Sheet or Thin Layer Asphalt Concrete is a graded gap mixture that uses fine coarse aggregate, fillers, and asphalt in a certain ratio which is compacted hotly. HRS has high durability. Filler functions as a filler for voids between aggregates, the fillers that are often used are cement and fly ash. In this study, the filler used was coffee grounds waste. The purpose of this study was to analyze the effect of adding coffee grounds waste to the properties of the HRS-WC mixture with immersion variation. This study used coffee grounds waste with the addition of 20%, 40%, 60%, 80% and 100%. Samples were made of 61 briquettes consisting of 21 characteristic briquettes and 40 variation briquettes. Some samples were not immersion and some were immersion for 3, 7 and 14 days. Sampling refers to the 2018 Bina Marga Specifications. Sample testing uses a Marshall Test. The test results show that the effect of adding 20% coffee grounds waste with 3-day immersion, the Stability, Flow, Density, Marshall Quotient, VIM, VMA, and VFB values are all within the 2018 Bina Marga Specifications.

**Abstrak.** Hot Rolled Sheet atau Lapis Tipis Aspal Beton merupakan campuran bergradiasi senjang yang menggunakan agregat kasar halus, filler, dan aspal dengan perbandingan tertentu yang dipadatkan secara panas. HRS mempunyai sifat keawetan yang tinggi. Filler berfungsi sebagai pengisi rongga antar agregat, filler yang sering digunakan yaitu semen dan abu terbang. Pada penelitian ini filler yang digunakan adalah limbah ampas kopi. Tujuan penelitian ini yaitu menganalisa pengaruh penambahan limbah ampas kopi terhadap sifat campuran HRS-WC dengan variasi perendaman. Penelitian ini menggunakan limbah ampas kopi dengan penambahan 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100%. Sampel dibuat sebanyak 61 briket terdiri dari 21 briket karakteristik dan 40 briket variasi. Sampel ada yang tidak direndam dan ada yang direndam selama 3, 7, dan 14 hari. Pembuatan sampel mengacu pada Spesifikasi Bina Marga 2018. Pengujian sampel menggunakan Alat Marshall. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pengaruh penambahan limbah ampas kopi 20% dengan perendaman 3 hari nilai Stabilitas, Keleahan, Kepadatan, Marshall Quotient, VIM, VMA, dan VFB semua hasilnya masuk dalam batas Spesifikasi Bina Marga 2018.

**Keywords:**

*HRS-WC, Limbah Ampas Kopi, Variasi Perendaman*

**Coresponden author:**

Email: anggrianyjl18@gmail.com



artikel dengan akses terbuka dibawah lisensi CC BY -4.0

## 1. PENDAHULUAN

Jalan adalah prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas, yang berada pada permukaan tanah, di atas permukaan tanah, di bawah permukaan tanah dan/atau air, serta di atas permukaan air, kecuali jalan kereta api, jalan lori, dan jalan kabel (UU No.38 Tahun 2004).

Jenis perkerasan jalan terbagi menjadi 3 yaitu perkerasan lentur (Flexible pavement), perkerasan kaku (Rigid pavement), dan perkerasan komposit (Composite Pavement). Perkerasan lentur yang digunakan di Indonesia pada umumnya menggunakan campuran aspal panas. Campuran aspal panas (Hotmix) adalah campuran agregat halus dengan agregat kasar dan bahan pengisi (Filler) dengan bahan pengikat aspal dalam kondisi suhu panas tinggi. Takaran komposisinya diatur dalam spesifikasi teknik. Ada beberapa jenis campuran aspal panas yaitu AC (Asphalt Concrete) atau LASTON (Lapis Aspal Beton), HRS (Hot Rolled Sheet) atau LATASTON (Lapis Tipis Aspal Beton), dan HRSS (Hot Rolled Sand Sheet) atau LATASIR (Lapis Tipis Aspal Pasir).

Indonesia pada umumnya menggunakan campuran aspal beton sebagai lapis permukaan, salah satunya HRS-WC (Hot Rolled Sheet-Wearing Course) karena mempunyai kelenturan yang tinggi dan tahan terhadap kelelahan plastis. HRS-WC tersusun dari agregat kasar, halus dan aspal. Agregat halus berupa bahan pengisi (Filler), yang diperlukan untuk mengisi rongga – rongga diantara partikel agregat sehingga dapat meningkatkan kerapatan antar campuran. Filler yang pada umumnya digunakan yaitu : fly ash, abu batu, semen, kapur, dsb. Namun perlu dicari bahan alternatif lain dengan memanfaatkan bahan limbah seperti ampas kopi yang berasal dari warung kopi atau

cafe.

Limbah ampas kopi merupakan limbah industri pangan yang tergolong sebagai limbah organik. Saat ini bisnis warung kopi atau cafe sedang menjamur, Berdasarkan Pusat Data dan Sistem Informasi Kementerian Pertanian konsumsi kopi nasional pada 2016 mencapai sekitar 250 ribu ton dan tumbuh 10,54% menjadi 276 ribu ton. Konsumsi kopi Indonesia sepanjang periode 2016-2021 diprediksi tumbuh rata-rata 8,22%/tahun. Pada 2021, pasokan kopi diprediksi mencapai 795 ribu ton dengan konsumsi 370 ribu ton. Dari 0,50 kg kopi siap dipakai menghasilkan  $\pm 0,34$  kg ampas kopi. Jadi jika dalam 1 ton kopi siap pakai akan menghasilkan 984 kg ampas kopi. Jika limbah industri pangan dibiarkan menumpuk maka menimbulkan pencemaran udara dan berkembangnya mikroorganisme penyebab berbagai macam penyakit.

Penelitian ini diharapkan mampu menganalisa pengaruh penambahan limbah ampas kopi terhadap sifat campuran aspal panas HRS-WC dengan variasi perendaman yang dapat menghasilkan nilai stabilitas dan durabilitas maksimal. Selain untuk mengurangi pencemaran lingkungan akibat limbah ampas kopi juga untuk mendapatkan campuran perkerasan jalan yang berkualitas tanpa mengurangi keamanan dan kenyamanan pengguna jalan.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1. Prosedur Penelitian Menggunakan Alat Marshall

Metodologi penelitian menggunakan alat marshall yaitu benda uji yang telah dipadatkan menjadi briket aspal ditinggikan kemudian ditimbang untuk mendapatkan berat benda uji di udara, setelah itu direndam di dalam bak perendam berisi air selama 24 jam pada suhu ruangan, kemudian dikeluarkan dikeringkan permukaannya menggunakan lap lalu ditimbang untuk mendapatkan berat jenis jenuh kering permukaan (SSD), lalu briket aspal dimasukkan ke dalam keranjang kawat dan dicelupkan ke tempat air dengan kapasitas besar lalu ditimbang untuk mendapatkan berat benda uji di dalam air.

Briket aspal kemudian direndam di dalam waterbath dengan suhu 60°C selama 30 menit, setelah itu briket aspal dikeluarkan dan diuji menggunakan Alat Marshall. Hasil pembacaan alat Marshall akan didapatkan nilai stabilitas dan kelelahan (flow).

### 2.2. Prosedur Penelitian dengan Variasi Perendaman

Metodologi penelitian dengan variasi perendaman yaitu benda uji yang telah dipadatkan menjadi briket aspal ditinggikan kemudian ditimbang untuk mendapatkan berat benda uji di udara, briket aspal ada yang tidak direndam dan ada pula yang direndam. Briket aspal yang tidak direndam langsung diuji menggunakan alat Marshall, kemudian briket aspal yang direndam di dalam bak perendam berisi air selama 3 hari, 7 hari, dan 14 hari diuji seperti prosedur sebelumnya

### 2.3. Karakteristik Marshall Test

- a. Stabilitas adalah kemampuan lapis perkerasan untuk menahan deformasi akibat beban lalu lintas yang bekerja diatasnya tanpa mengalami perubahan bentuk.
- b. Kelelahan (Flow) adalah besarnya deformasi vertikal yang terjadi di awal pembebanan sehingga stabilitas menurun akibat menahan beban yang diterima
- c. Kepadatan (Density) adalah besarnya kerapatan suatu campuran yang sudah dipadatkan.
- d. VIM (Void in Mix) adalah persentase rongga udara dalam campuran antara agregat dan aspal setelah pemanasan. semakin kecil nilai VIM maka akan bersifat kedap air namun nilai VIM yang besar maka rongga semakin banyak dan bersifat porous.
- e. VFA ( Void Filled with Asphalt) adalah persentase rongga terisi aspal/bitumen pada campuran setelah proses pemanasan . Apabila VFB besar maka banyak rongga yang terisi aspal sehingga kekakuan campuran terhadap udara dan air menjadi lebih tinggi. Hal ini disebabkan aspal yang berjumlah besar apabila menerima beban dan panas akan mencari rongga yang kosong. Jika rongga yang tersedia sedikit dan semua telah terisi, aspal akan naik ke permukaan yang kemudian terjadi bleeding
- f. VMA (Void in Mineral Aggregate) Nilai VMA dipengaruhi oleh faktor pemanasan yaitu jumlah dan suhu pemanasan, gradasi agregat, dan kadar aspal. Peningkatan VMA pada campuran disebabkan karena daya tekan air ke segala arah yang mendesak aspal sehingga memungkinkan terjadinya perubahan susunan agregat yang menyebabkan rongga dalam mineral meningkat, serta nilai VMA naik apabila nilai VIM juga naik.
- g. MQ (Marshall Quotient) adalah hasil bagi Marshall perbandingan antara stabilitas dan kelelahan yang merupakan indikator terhadap kekuatan campuran secara empiris. Semakin tinggi nilai MQ maka kemungkinan akan semakin tinggi kekakuan suatu campuran dan semakin rentan campuran tersebut terhadap keretakan. Namun nilai MQ juga tidak boleh terlalu rendah karena hal tersebut akan menyebabkan campuran rentan terhadap deformasi plastis.

### 2.4. Rencana Benda Uji

Rancangan benda uji dapat dilihat pada Tabel dibawah ini

**Tabel 1.** Rancangan Benda Uji

Uraian Kegiatan Pengujian				
<b>1. Penentuan Kadar Aspal Optimum</b>				
Variasi Kadar Aspal (%)		Jumlah		
	Benda Uji			Jumlah
HRS-WC	HRS-WC			
5.5	3			
6	3			
6.5	3			15
7	3			
7.5	3			
<b>2. Pengujian Stabilitas Sisa (60°)</b>				
Kadar Aspal (%)	Waktu (Menit/Jam)	HRS-WC		Jumlah
Optimum	30 Menit	3		6
Optimum	24 Jam	3		
<b>3. Variasi Penambahan Limbah Ampas Kopi</b>				
Kadar Aspal (%)	Kadar Limbah Ampas Kopi (%)	Tanpa Perendaman	Direndam	HRS- WC
	Terhadap Kadar Aspal	( 0 Hari)	(Siklus Hari)	Jumlah
Optimum	20	2	3 7 14	2
Optimum	40	2	3 7 14	2
Optimum	60	2	3 7 14	2
Optimum	80	2	3 7 14	2
Optimum	100	2	3 7 14	2
Total				
61				

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium, 2022

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tujuan pengujian menggunakan Alat Marshall yaitu untuk mengetahui karakteristik HRS-WC dengan kadar aspal tertentu dengan waktu 30 menit. Hasil pembacaan alat Marshall berupa Stabilitas dan kelelahan (Flow) dan diuraikan pada tabel dibawah ini:

**Tabel 2.** Hasil Uji Marshall KAO Dengan Perendaman Selama 30 Menit Pada Suhu 60°C

No	Pemeriksaan	KAO 7%	Spesifikasi Bina Marga 2018
1	Kepadatan	2.23	-
2	Stabilitas (kg)	1435.37	Min 600
3	VMA (%)	18.50	Min 18
4	MQ (kg/mm)	431.47	Min 250
5	Flow (mm)	4.10	Min 3
6	VIM (%)	5.73	4-6
7	VFB (%)	69.00	Min 68

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium dan Spesifikasi Bina Marga 2018 PUPR

**Tabel 3.** Hasil Uji Marshall KAO Menggunakan Bahan Limbah Ampas Kopi 20%, 40%, 60%, 80%, dan 10% Dengan Perendaman Selama 30 Menit Pada Suhu 60°C

No	Pemeriksaan	KAO 7%						Spesifikasi Bina Marga 2018
		KAO	20%	40%	60%	80%	100%	
1	Kepadatan	2.23	2.25	2.24	2.24	2.24	2.24	-
2	Stabilitas (kg)	1435.37	1782.04	1495.36	1456.62	1448.88	1441.13	Min 600
3	VMA (%)	18.50	18.30	18.45	18.54	18.60	18.61	Min 18
4	MQ (kg/mm)	431.47	568.80	446.80	410.16	390.75	366.98	Min 250
5	Flow (mm)	4.10	3.20	3.40	3.60	3.75	4.00	Min 3
6	VIM (%)	5.73	4.31	4.48	4.58	4.65	4.66	4-6
7	VFB (%)	69.00	76.48	75.81	75.30	75.00	74.96	Min 68

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium dan Spesifikasi Bina Marga 2018 PUPR

**Tabel 4.** Hasil Uji Marshall KAO Menggunakan Bahan Limbah Ampas Kopi 20%, 40%, 60%, 80%, dan 10% Perendaman 3 hari dan Direndam di Waterbath Selama 30 Menit Pada Suhu 60°C

No	Pemeriksaan	KAO 7%						Spesifikasi Bina Marga 2018
		KAO	20%	40%	60%	80%	100%	
1	Kepadatan	2.23	2.24	2.24	2.23	2.23	2.23	-
2	Stabilitas (kg)	1435.37	1472.12	1456.62	1301.66	1216.44	1038.23	Min 600
3	<i>VMA</i> (%)	18.50	18.86	18.71	18.86	18.87	18.91	Min 18
4	<i>MQ</i> (kg/mm)	431.47	394.35	349.65	317.73	271.18	244.84	Min 250
5	<i>Flow</i> (mm)	4.10	3.95	4.20	4.30	4.55	4.75	Min 3
6	<i>VIM</i> (%)	5.73	4.35	4.78	4.95	4.97	5.01	4-6
7	<i>VFB</i> (%)	69.00	77.19	74.76	74.28	74.20	73.49	Min 68

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium dan Spesifikasi Bina Marga 2018 PUPR

**Tabel 5.** Hasil Uji Marshall KAO Menggunakan Bahan Limbah Ampas Kopi 20%, 40%, 60%, 80%, dan 10% Perendaman 7 hari dan Direndam di Waterbath Selama 30 Menit Pada Suhu 60°C

No	Pemeriksaan	KAO 7%					Spesifikasi Bina Marga 2018	
		KAO	20%	40%	60%	80%	100%	
1	Kepadatan	2.23	2.21	2.22	2.21	2.22	2.22	-
2	Stabilitas (kg)	1435.37	1162.20	1123.46	1069.22	1007.24	968.50	Min 600
3	<i>VMA</i> (%)	18.50	19.01	19.06	19.14	19.18	19.33	Min 18

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium dan Spesifikasi Bina Marga 2018 PUPR

**Tabel 6.** Hasil Uji Marshall KAO Menggunakan Bahan Limbah Ampas Kopi 20%, 40%, 60%, 80%, dan 10% Perendaman 7 hari dan Direndam di Waterbath Selama 30 Menit Pada Suhu 60°C (lanjutan)

No	Pemeriksaan	KAO 7%					Spesifikasi Bina Marga 2018	
		KAO	20%	40%	60%	80%	100%	
4	<i>MQ</i> (kg/mm)	431.47	240.92	209.73	185.25	172.63	163.10	Min 250
5	<i>Flow</i> (mm)	4.10	4.85	5.40	5.75	5.85	6.10	Min 3
6	<i>VIM</i> (%)	5.73	5.13	5.20	5.28	5.33	5.50	4-6
7	<i>VFB</i> (%)	69.00	74.06	74.40	72.45	72.63	72.44	Min 68

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium dan Spesifikasi Bina Marga 2018 PUPR

**Tabel 7.** Hasil Uji Marshall KAO Menggunakan Bahan Limbah Ampas Kopi 20%, 40%, 60%, 80%, dan 10% Perendaman 14 hari dan Direndam di Waterbath Selama 30 Menit Pada Suhu 60°C

No	Pemeriksaan	KAO 7%					Spesifikasi Bina Marga 2018	
		KAO	20%	40%	60%	80%	100%	
1	Kepadatan	2.23	2.22	2.22	2.21	2.22	2.20	-
2	Stabilitas (kg)	1435.37	1061.48	914.26	891.02	875.52	836.78	Min 600
3	<i>VMA</i> (%)	18.50	19.38	19.44	19.39	19.46	19.97	Min 18
4	<i>MQ</i> (kg/mm)	431.47	212.29	143.57	147.97	130.33	99.50	Min 250
5	<i>Flow</i> (mm)	4.10	5.20	6.40	6.60	6.90	8.40	Min 3
6	<i>VIM</i> (%)	5.73	5.57	5.63	5.60	5.69	6.29	4-6
7	<i>VFB</i> (%)	69.00	71.68	75.18	73.47	70.95	70.30	Min 68

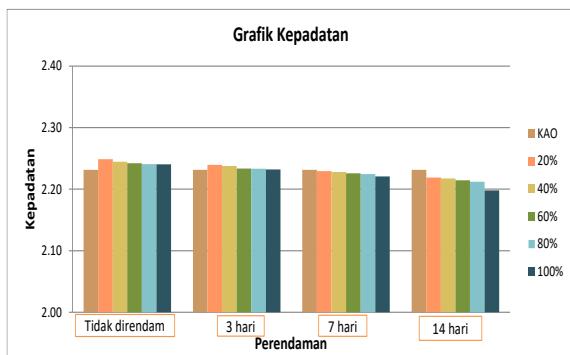
Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium dan Spesifikasi Bina Marga 2018 PUPR

### 3.1. Hasil Pengujian Penambahan Limbah Ampas Kopi Pada Campuran Aspal HRS-WC dengan Variasi Perendaman

Hasil pengujian benda uji dengan alat Marshall akan diperoleh parameter-parameter Marshall yang akan diuraikan sebagai berikut :

#### **Kepadatan (Density)**

Nilai *density* (kepadatan) menunjukkan besarnya kerapatan suatu campuran yang sudah dipadatkan. Campuran dengan *density* tinggi dalam batas tertentu akan lebih mampu menahan beban yang lebih berat dibandingkan dengan campuran yang mempunyai *density* yang rendah.

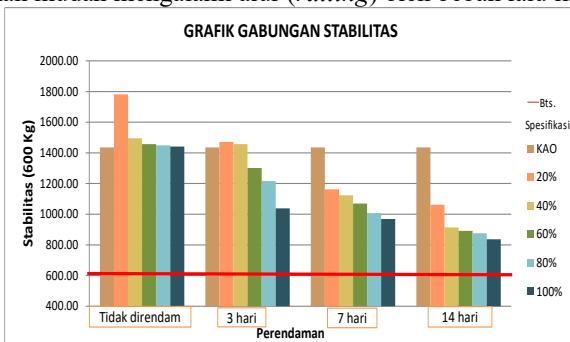


**Gambar 1.** Diagram Hubungan Variasi Perendaman Terhadap Kepadatan

Gambar 1 menunjukkan bahwa semakin lama perendaman yang dilakukan maka semakin turun nilai Kepadatan (*density*) yang berakibatkan berkurangnya kekuatan campuran

#### **Stabilitas Minimum 600 Kg**

Nilai stabilitas menunjukkan besarnya kemampuan perkerasan menahan beban tanpa mengalami perubahan bentuk (*deformasi*) tetap, dinyatakan dalam satuan beban lalu lintas, perkerasan yang memiliki nilai stabilitas yang tinggi akan mampu menahan beban lalu lintas besar, akan tetapi stabilitas yang terlalu rendah akan mengakibatkan perkerasan akan mudah mengalami alur (*rutting*) oleh beban lalu lintas

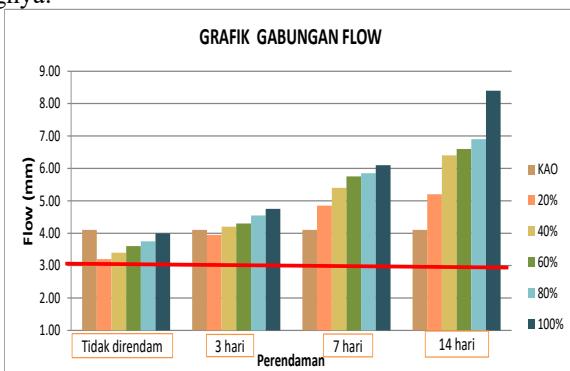


**Gambar 2.** Diagram Hubungan Variasi Perendaman Terhadap Stabilitas

Gambar 2 menunjukkan bahwa semakin lama perendaman daya lekat dalam aspal juga menurun yang berdampak dari kepadatan campuran.

#### **Kelelahan (Flow) Minimum 3 mm**

Nilai *Flow* menyatakan besarnya deformasi yang terjadi pada suatu lapis perkerasan akibat beban lalu lintas. Nilai *Flow* tinggi akan cenderung lembek sehingga akan menyebabkan deformasi permanen apabila menerima beban. Sebaliknya jika nilai *Flow* rendah maka campuran menjadi kaku dan mudah retak jika menerima beban yang mengalami daya dukungnya.

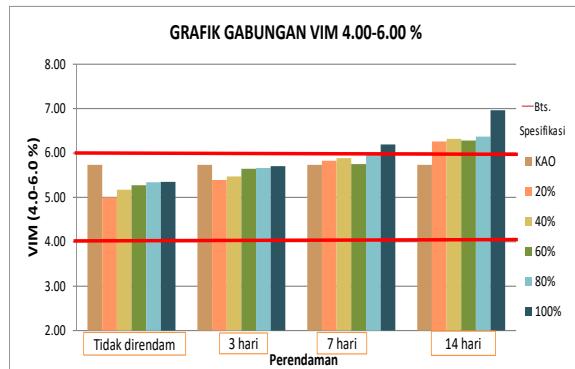


**Gambar 3.** Diagram Hubungan Variasi Perendaman Terhadap *Flow*

Gambar 3 menunjukkan bahwa semakin lama perendaman nilai viskositas semakin meningkat campuran menjadi lunak dan titik lembek meningkat sedangkan nilai stabilitas semakin turun.

#### **Void In Mixture (VIM) 4.0%-6.0%**

*VIM* (void in mixture) merupakan presentase rongga udara dalam campuran antara agregat dan aspal setelah dilakukan pemanasan. Semakin kecil nilai *VIM*, maka akan bersifat kedap air. Namun nilai *VIM* yang terlalu kecil dapat mengakibatkan keluarnya aspal ke permukaan (*Bleeding*)

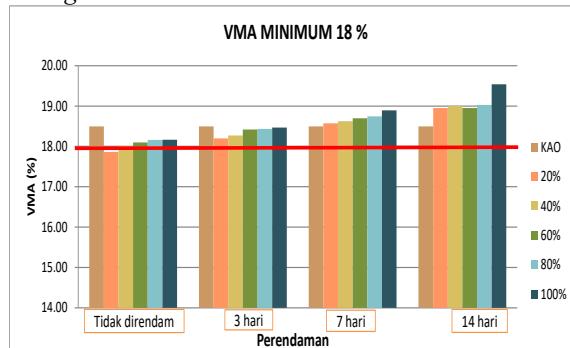


**Gambar 4.** Diagram Hubungan Variasi Perendaman Terhadap *VIM*

Gambar 4 menunjukkan bahwa nilai *VIM* semakin direndam semakin tinggi karena semakin besar rongga dalam campuran sehingga campuran akan bersifat *porous*. Hal ini akan mengakibatkan campuran menjadi kurang rapat sehingga air dan udara mudah memasuki rongga dalam campuran yang akan menyebabkan aspal mudah teroksidasi dan *film* aspal menipis dan kohesi aspal berkurang.

#### **Void In Mineralle Aggregate (VMA) Minimum 18%**

*VMA* adalah presentase rongga antar butir agregat. Nilai *VMA* yang terlalu kecil dapat menyebabkan lapisan aspal yang dapat menyelimuti agregat menjadi tipis dan mudah teroksidasi, akan tetapi bila kadar aspalnya terlalu banyak akan menyebabkan *bleeding*.

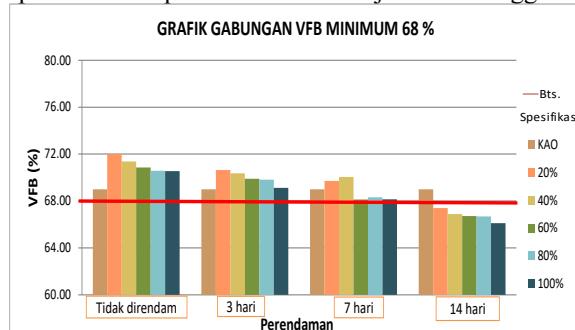


**Gambar 5.** Diagram Hubungan Variasi Perendaman Terhadap *VMA*

Gambar 5 menunjukkan bahwa peningkatan *VMA* pada campuran disebabkan karena daya tekan air ke segala arah yang mendesak aspal sehingga memungkinkan terjadinya perubahan susunan agregat yang menyebabkan rongga dalam mineral meningkat, serta nilai *VMA* naik apabila nilai *VIM* juga naik.

#### **Void Filled with Bitumen (VFB) Minimum 68%**

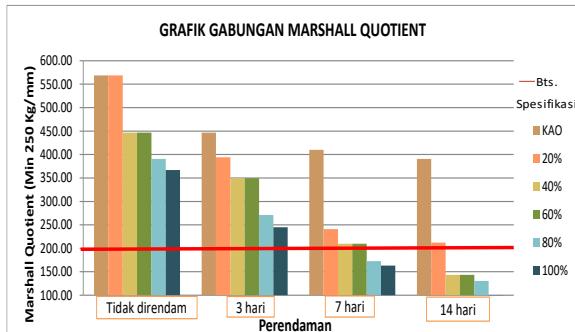
Nilai *VFB* memperlihatkan presentase rongga terisi aspal. Apabila *VFB* besar maka banyak rongga yang terisi aspal sehingga kekédapan campuran terhadap udara dan air menjadi lebih tinggi.



**Gambar 6.** Diagram Hubungan Variasi Perendaman Terhadap *VFB*

Gambar 6 menunjukkan bahwa karena rongga dalam agregat (*VMA*) semakin meningkat maka rongga terisi aspal (*VFB*) semakin menurun.

#### Marshall Quotient (*MQ*) Minimum 250 Kg/mm



Gambar 7. Diagram Hubungan Variasi Perendaman Terhadap *VFB*

Hasil bagi *Marshall* atau *Marshall Quotient* adalah perbandingan antara stabilitas dan keleahan yang juga merupakan indikator terhadap kekuatan campuran secara empiris. Semakin tinggi nilai *MQ* maka kemungkinan akan semakin tinggi kekakuan suatu campuran dan semakin rentan campuran tersebut terhadap keretakan. Namun nilai *MQ* juga tidak boleh terlalu rendah karena hal tersebut akan menyebabkan campuran rentan terhadap deformasi plastis

Gambar 6 menunjukkan bahwa semakin lama perendaman nilai *MQ* akan semakin turun dan ada yang tidak masuk dalam spesifikasi maka perkerasan mudah mengalami *Washboarding* atau gelombang, *Rutting* atau alur, dan *Bleeding* atau kegemukan pada aspal sehingga aspalnya naik ke permukaan. Hal ini disebabkan karena kohesi atau daya lekat dalam aspal menurun akibat oksidasi selama direndam dalam air.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis data dari serangkaian pengujian yang telah dilakukan dalam penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa nilai stabilitas mengalami penurunan secara signifikan seiring dengan peningkatan kadar limbah ampas kopi serta lama waktu perendaman yang diterapkan. Sebaliknya, nilai flow menunjukkan peningkatan yang sejalan dengan perubahan tersebut. Meskipun demikian, semua nilai parameter tersebut masih berada dalam rentang batas yang ditetapkan oleh Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2018, sehingga dapat dikatakan bahwa kualitas campuran aspal masih memenuhi standar teknis yang berlaku. Penurunan stabilitas ini mengindikasikan adanya perubahan perilaku mekanis campuran aspal yang perlu diperhatikan, namun peningkatan flow dapat berimplikasi positif terhadap kemampuan deformasi campuran yang lebih baik.

Lebih lanjut, pengujian dengan kadar limbah ampas kopi sebesar 20% dan waktu perendaman selama 3 hari memberikan hasil yang optimal. Pada kondisi ini, parameter-parameter penting seperti stabilitas, flow, kepadatan, Marshall Quotient, serta indeks volumetrik yaitu VIM (Voids in Mineral Aggregate), VMA (Voids in Mineral Aggregate), dan VFB (Voids Filled with Bitumen) semuanya memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan limbah ampas kopi sebagai bahan substitusi dalam campuran aspal tidak hanya berpotensi mengurangi limbah organik, tetapi juga tidak menurunkan kualitas teknis campuran. Dengan demikian, kadar 20% limbah ampas kopi dengan perendaman selama 3 hari dapat dijadikan sebagai rekomendasi praktis untuk aplikasi di lapangan yang mempertimbangkan aspek keberlanjutan sekaligus menjaga performa struktur jalan sesuai standar yang berlaku.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, Isnaini Zulkarnain. 2022. Pengaruh Penggunaan Abu Ampas Kopi Sebagai Campuran Pada Perkerasan Laston AC-BC (Asphalt Concrete-Binder Course). Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur.
- BALITBANG-PU dan Direktorat Jendral Bina Marga. 2007. Modul, Training of trainer (TOT). Jakarta.
- Dinas Lalu Lintas dan Angkutan Jalan. Undang-Undang Republik Indonesia No. 38 Tahun 2004 tentang Jalan. Direktorat Jendral Bina Marga. 2018. Spesifikasi Umum 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat : Jakarta.
- Direktorat Jendral Bina Marga. 2018. Spesifikasi Umum 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat : Jakarta.

- Nurdin R.A, 2014. Bahan Kuliah Rekayasa Tanah dan Perkerasan Jalan Raya. Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas “45” Makassar.
- Nurdin R.A, 2014. Penuntun Praktikum Laboratorium Jalan dan Aspal. Jurusan Sipil Fakultas Teknik “45” Makassar.
- Otten coffee. 2017. Ampas Kopi Disulap Menjadi Aspal Jalanan. (Online) Vol. 1. <https://ottencoffee.co.id/majalah/ampas-kopi-disulap-menjadi-aspal-jalanan>. Diakses 18 Maret 2021.
- SNI ASTM C136:2012. Metode Uji Untuk Analisis Saringan Agregat Halus dan Agregat Kasar.
- SNI 1969:2016. Metode Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar.
- SNI 1970:2016. Metode Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus.
- SNI 2456 : 2011. Metode Uji Penetrasi.
- SNI 2441:2011. Metode Uji Berat Jenis Aspal Keras.
- Sukirman, Silvia. 1999. Perkerasan Lentur Jalan Raya. Bandung, Nova.
- Sukirman, Silvia. 2003. Beton Aspal Campuran Panas. Grafika Yuana :Bandung.