

Penggunaan Limbah Kaca Sebagai Filler pada Campuran Perkerasan Aspal Panas

Ratna Yuniarti

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram
Jl. Majapahit 62 Mataram 83125 Telp. (0370) 636126, 638436 E-mail: ratna_yuniarti@unram.ac.id

Hasyim

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram
Jl. Majapahit 62 Mataram 83125 Telp. (0370) 636126, 638436 E-mail: hasyim_husien@unram.ac.id

Hariyadi

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram
Jl. Majapahit 62 Mataram 83125 Telp. (0370) 636126, 638436 E-mail: hariyadi@unram.ac.id

Teti Handayani

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram
Jl. Majapahit 62 Mataram 83125 Telp. (0370) 636126, 638436 E-mail: tetihandayani@unram.ac.id

Abstrak

Pada campuran perkerasan aspal dibutuhkan bahan pengisi (filler) untuk mendukung kinerja konstruksi perkerasan jalan agar dapat menahan beban lalu lintas. Berbagai jenis filler telah banyak digunakan antara lain limestone, semen portland dan lain-lain. Namun keterbatasan sumber daya alam mendorong upaya pemanfaatan bahan-bahan buangan dalam konstruksi perkerasan jalan. Pada penelitian ini, digunakan limbah kaca sebagai filler karena limbah kaca mengandung silika yang memiliki sifat adhesi tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui prosentase filler limbah kaca yang paling optimum terhadap kinerja campuran perkerasan aspal. Kinerja tersebut diukur melalui pengujian stabilitas, flow, Marshall Quotient, rongga dalam campuran, rongga di antara mineral agregat, rongga terisi aspal, Marshall immersion, tegangan tarik tidak langsung dan Cantabro loss. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan limbah kaca dengan proporsi 75% terhadap total berat filler meningkatkan stabilitas dan kekakuan campuran sehingga lebih mampu untuk menerima pembebanan. Campuran dengan proporsi 75% filler limbah kaca menghasilkan nilai VIM dan VMA lebih kecil serta nilai VFB lebih besar yang mengindikasikan bahwa campuran memiliki daya ikat dan sifat saling mengunci yang kuat sehingga menghasilkan rongga lebih kecil serta selimut aspal lebih tebal. Berdasarkan hasil uji Marshall immersion dan Cantabro loss, campuran dengan proporsi tersebut lebih tahan terhadap rendaman air sehingga memiliki durabilitas lebih tinggi serta lebih tahan terhadap potensi disintegrasi.

Kata-kata kunci: Campuran aspal, disintegrasi, durabilitas, filler limbah kaca, stabilitas

Abstract

Filler is required in the asphalt concrete mixture to support the performance of pavement construction in order to withstand the traffic load. Various types of filler has been widely used, such as limestone, portland cement and others. However, because of limitation of available natural resources, there has been a significant increase in the demand for using waste materials in pavement construction. In this study, waste glass was used as filler due to its high adhesion characteristics. This study aims to determine the optimum percentage of waste glass filler and evaluate its effect on the performance of asphalt concrete mixtures. The performance was measured in term of stability, flow, Marshall Quotient, voids in mix, voids in the mineral aggregate, voids filled with bitumen, Marshall immersion, indirect tensile strength and Cantabro loss. The results showed that using the percentage of waste glass of 75% by weight of filler increased stability and stiffness so that the mixture became stronger to withstand the load. The mixtures with a proportion of 75% waste glass filler have smaller VIM and VMA values and a larger VFB. It is indicated that the mixtures have strong bonding and interlocking properties resulting in smaller voids and thicker asphalt binder film thickness. Based on the results test of Marshall immersion and Cantabro loss, the mixtures with stated proportion more resistant to water immersion, resulting in higher durability and greater resistance to potency of disintegration.

Key words: Asphalt mixture, disintegration, durability, stability, waste glass filler

1. Pendahuluan

Lapis aspal beton (laston) adalah jenis perkerasan jalan raya yang terdiri dari campuran aspal dan agregat bergradasi menerus dengan ukuran butir terdistribusi merata dalam satu rentang ukuran butir (Sukirman, 2007). Sebagai campuran dengan agregat bergradasi menerus, dibutuhkan *filler* untuk mendukung kekuatan dan memenuhi jumlah rongga dalam campuran. Menurut Departemen Pekerjaan Umum (1999), *filler* adalah bahan pengisi yang merupakan sekumpulan mineral agregat lolos saringan No. 200 atau 0,075 mm. *Filler* harus memiliki daya rekat yang tinggi dengan agregat lainnya. Dengan adanya daya rekat ini, maka *filler* dan aspal secara bersamaan akan membentuk suatu pasta yang membalut dan mengikat agregat halus untuk membentuk mortar.

Shaw (2000) menyebutkan bahwa salah satu persyaratan yang harus dipenuhi sebagai material *filler* adalah harga yang terjangkau. Dengan keterbatasan sumber dana yang ada, pemilihan jenis *filler* seyogyanya dilakukan untuk memenuhi kriteria tersebut. Di samping itu, sesuai dengan konsensus internasional untuk menerapkan pembangunan berwawasan lingkungan, beberapa program yang dapat dikembangkan adalah mengurangi penggunaan sumber daya alam dan memaksimalkan pemanfaatan bahan buangan atau limbah (Johnson, 1993). Pemanfaatan bahan buangan memberikan keuntungan berupa penghematan lahan tempat pembuangan, mengurangi ongkos angkut dari sumber limbah ke lokasi pembuangan serta menghemat anggaran pemerintah daerah untuk menangani limbah tersebut.

Salah satu jenis limbah yang dapat dimanfaatkan sebagai *filler* pada konstruksi perkerasan jalan adalah limbah kaca. Menurut Liu, dkk. (2015), komponen utama dalam limbah kaca adalah alkali dan *silicon dioxide* (*reactive silica*). Silika merupakan bahan yang bersifat mengikat atau memiliki adhesi yang tinggi. Bubuk limbah kaca mengandung silika (SiO_2) sekitar 30%, kalsium oksida (CaO), alumina (Al_2O_3) dan sodium oksida (Na_2O) dengan prosentase pada rentang 10% dan 19%. Prosentase dari oksida lainnya di bawah 1% (Simone, dkk., 2017).

Sejak tahun 1980-an, limbah kaca telah banyak diteliti di USA dan Eropa sebagai bagian dari bahan pembentuk beton (Liu, 2015). Limbah kaca digunakan sebagai pengganti semen setelah dihaluskan. Limbah kaca dapat mengurangi porositas dari beton (Schwarz, dkk., 2008; Wang, dkk., 2010a; Wang, dkk. 2010b). Selain itu, penggunaan limbah kaca pada beton juga meningkatkan kekuatan dan durabilitas jika rasio penggunaannya pada kisaran 20%-30% (Kou dan Poon, 2009). Bubuk limbah kaca dapat berperan pada reaksi *pozzolanic* yang memberikan dampak positif terhadap karakteristik campuran (Lin, dkk., 2008). Disebutkan pula bahwa penggunaan 25% limbah kaca sebagai pengganti semen dapat meningkatkan kemudahan pelaksanaan (*workability*) dari campuran beton (Keerio, 2017).

Pada perkerasan aspal, penggunaan limbah kaca

menghasilkan campuran yang lazim disebut *glassphalt*. *Glassphalt* ini pada dasarnya sama dengan campuran aspal konvensional, perbedaannya adalah agregat kasar atau agregat halus diganti dengan limbah kaca pada rentang 5%-40% terhadap total agregat (Alimohamadi dan Sanaeirad, 2016). Beberapa penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa rendahnya absorpsi dari partikel limbah kaca terhadap aspal merupakan penyebab dari kurang efisiennya kinerja *glassphalt* tersebut (Ghasemi dan Marandi, 2013). Pengelupasan dini pada lapisan permukaan, pelepasan butir dan penurunan *skid resistance* merupakan permasalahan yang berkaitan dengan rendahnya porositas partikel limbah kaca pada *glassphalt* sehingga limbah kaca digunakan sebagai alternatif pengganti *filler* pada penelitian lainnya (Wu, dkk., 2007). Penggunaan bubuk limbah kaca sebagai *filler* menghasilkan densitas yang lebih rendah dan rongga pori yang lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan *filler* limestone dan semen portland (Jony, dkk., 2011).

Berdasarkan *literature review* tersebut, dalam campuran aspal umumnya digunakan satu jenis *filler* dan dibandingkan dengan jenis *filler* lainnya. Pada penelitian ini, dikaji penggunaan limbah kaca sebagai *filler* dengan proporsi tertentu yaitu dicampurkan dengan abu batu dengan perbandingan (0:100)%, (25:75)%, (50:50)%, (75:25)% dan (100:0)%. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui prosentase *filler* limbah kaca yang paling optimum terhadap kinerja campuran perkerasan aspal ditinjau dari stabilitas, *flow*, Marshall Quotient, rongga dalam campuran, rongga di antara mineral agregat, rongga terisi aspal, Marshall *immersion*, tegangan tarik tidak langsung dan *Cantabro loss*. Dengan penggunaan limbah kaca, campuran yang dihasilkan diharapkan mempunyai ikatan lebih kuat sehingga memiliki kemampuan yang optimum dalam memikul beban lalu lintas.

2. Metode

Jenis campuran yang dibuat adalah Laston *Asphalt Concrete-Binder Course* (AC-BC), yaitu campuran beraspal bergradasi menerus sebagai lapisan pengikat antara lapis permukaan dan lapis pondasi atas pada perkerasan jalan dengan lalu lintas berat. Campuran dibuat secara panas (*hot mix*) pada suhu 155°C, kemudian dipadatkan sebanyak 75 kali tumbukan pada kedua sisinya. Gradasi yang digunakan dalam campuran Laston AC-BC sesuai persyaratan pada **Tabel 1**.

Aspal yang digunakan diperhitungkan berdasarkan perkiraan kadar aspal optimum pada **Persamaan (1)** berikut (Departemen PU, 2006):

$$Pb = 0,035 (\% CA) + 0,045 (\% FA) + 0,18 (\% \text{ filler}) + \text{konstanta} \quad (1)$$

Di mana:

Pb = perkiraan kadar aspal optimum.

CA = agregat kasar, tertahan saringan nomor 4.

FA = agregat halus, lolos saringan nomor 4 dan tertahan saringan nomor 200.

Filler = agregat yang lolos saringan nomor 200.

Nilai konstanta berkisar 0,5 - 1,0 (untuk Laston). Dalam penelitian ini dipakai konstanta 1,0.

Dari gabungan agregat yang digunakan, diperoleh *coarse aggregate* = 45%, *fine aggregate* = 49% dan *filler* sebesar 6%. Dengan konstanta sebesar 1,0; diperoleh perkiraan kadar aspal optimum = 5,61%. Selanjutnya dibuat benda uji dengan kadar aspal 4,5%, 5%, 5,5%, 6% dan 6,5% menggunakan *filler* abu batu. Parameter pengujian yang digunakan adalah stabilitas Marshall, *flow*, Marshall Quotient, *voids in mix* (VIM), *voids in the mineral aggregate* (VMA), *voids filled with bitumen* (VFB). Berdasarkan kadar aspal optimum yang diperoleh dari hasil pengujian tersebut, dibuat campuran menggunakan *filler* limbah kaca dengan proporsi 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% terhadap total berat *filler*. Pada kadar aspal optimum, dilakukan pula pengujian Marshall *immersion*, *Cantabro loss* dan *indirect tensile strength* (ITS). Pengujian *Cantabro* dilakukan untuk mengetahui daya tahan campuran terhadap disintegrasi dengan mesin Los Angeles tanpa bola baja sebanyak 300 putaran dengan kecepatan 30 rpm. Pengujian ITS dilakukan dengan memberi beban axial pada benda uji berbentuk briket dengan tebal = t dan diameter = d. Nilai ITS dapat dihitung menggunakan **Persamaan (2)**:

$$ITS = \frac{2 P_{maks}}{\pi t d} \quad (2)$$

Tabel 1. Spesifikasi gradasi agregat untuk Laston AC-BC

Ukuran ayakan		% berat yang lolos terhadap total agregat dalam campuran
(inch)	(mm)	
1"	25	100
3/4"	19	90 - 100
1/2"	12,5	75 - 90
3/8"	9,5	66 - 82
No. 4	4,75	46 - 64
No. 8	2,36	30 - 49
No. 16	1,18	18 - 38
No. 30	0,6	12 - 28
No. 50	0,3	7 - 20
No. 100	0,15	5 - 13
No. 200	0,075	4 - 8

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2013

Tabel 3. Hasil pengujian agregat

Jenis pengujian	Hasil pengujian				Persyaratan*)
	Agregat kasar	Agregat halus	Filler abu batu	Filler kaca	
<i>Keausan impact</i> (%)	8,95	-	-	-	Maks. 30
<i>Berat jenis bulk</i>	2,66	2,69	2,69	2,97	Min. 2,5
<i>Berat jenis semu</i>	2,78	2,74	2,71	3,00	Min. 2,5
<i>Penyerapan air</i>	1,59	0,71	0,35	0,40	Maks. 3%
<i>Kelekatan agregat terhadap aspal</i> (%)	100	-	-	-	Min. 95

Sumber :*) Direktorat Jenderal Bina Marga, 2013

Pada masing-masing tahap pengujian, dilakukan 3 kali ulangan dan hasil yang disajikan merupakan rata-rata dari hasil uji tersebut. Benda uji dengan kadar aspal 4,5%, 5%, 5,5%, 6% dan 6,5% menggunakan *filler* abu batu dibuat sejumlah 15 buah. Adapun benda uji pada kadar aspal optimum menggunakan *filler* limbah kaca dengan proporsi 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% terhadap total berat *filler* berjumlah 60 buah dengan rincian 15 buah untuk uji stabilitas Marshall dan volumetrik campuran, 15 buah untuk uji Marshall *immersion*, 15 buah untuk uji *Cantabro loss* dan 15 buah untuk uji ITS.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian terhadap karakteristik aspal dan agregat disajikan pada **Tabel 2** dan **Tabel 3**.

Berdasarkan **Tabel 2** dan **Tabel 3** di bawah, aspal dan agregat yang digunakan telah memenuhi spesifikasi yang ditetapkan. Adapun hasil pengujian campuran dengan kadar aspal 4,5%-6,5% menggunakan *filler* abu batu disajikan pada **Tabel 4**.

Tabel 4 menunjukkan hasil pengujian stabilitas Marshall, *flow*, Marshall Quotient, VIM, VMA dan VFB sebagai acuan untuk mendapatkan kadar aspal optimum. Dengan penggunaan 100% *filler* abu batu, terlihat bahwa nilai stabilitas campuran pada semua kadar aspal yang diujikan memenuhi spesifikasi yang ditentukan yaitu minimal 800 kg. Stabilitas adalah

Tabel 2. Hasil pengujian aspal

Jenis Pengujian	Persyaratan*)	Hasil Pemeriksaan
Penetrasi pada 25oC (0,1 mm)	60 - 70	62,4
Titik lembek (oC)	≥ 48	48
Daktilitas pada 25oC (cm)	≥ 100	151
Titik nyala (oC)	≥ 232	260
Berat jenis	≥ 1,0	1,03
Kehilangan berat (%)	≤ 0,8	0,62
Penetrasi setelah kehilangan berat (% asli)	≥ 54	87,66
Daktilitas setelah kehilangan berat (cm)	≥ 100	146,5

Sumber :*) Direktorat Jenderal Bina Marga, 2013

Tabel 4. Hasil pengujian Marshall dan volumetrik campuran

Kadar aspal (%)	Hasil pengujian					
	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VIM (%)	VMA (%)	VFB (%)
4,5	2465,00	2,65	930,20	7,18	15,75	54,40
5	2614,86	2,70	969,26	5,88	15,68	62,48
5,5	2546,00	2,90	882,44	4,99	15,98	68,78
6	2522,08	3,35	757,52	4,16	16,33	74,56
6,5	2337,43	3,60	649,29	3,78	17,08	77,89
Persyaratan*)	Min. 800	2 - 4	Min. 250	3 - 5	Min. 14	Min. 65

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2013

kemampuan lapis perkerasan jalan untuk menahan beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap. Adapun nilai *flow* (kelelahan) suatu campuran aspal diakibatkan oleh perubahan bentuk plastis atau deformasi permanen yang terjadi akibat beban lalu lintas sampai batas keruntuhan. Seiring dengan peningkatan kadar aspal, nilai *flow* mengalami peningkatan. Hal ini disebabkan karena dengan kandungan aspal yang semakin banyak, campuran semakin lentur dan tingkat kelelahan campuran menjadi semakin besar. Hasil pengujian yang diperoleh memperlihatkan bahwa nilai *flow* pada semua kadar aspal memenuhi spesifikasi yaitu berkisar antara 2-4 mm. Marshall *Quotient* (MQ) merupakan hasil bagi dari stabilitas dan *flow*. Berdasarkan Tabel 4, terlihat bahwa kadar aspal dan nilai MQ berbanding terbalik. Meningkatnya kadar aspal mengakibatkan menurunnya nilai MQ. Pada seluruh rentang kadar aspal yang diujikan, nilai MQ memenuhi spesifikasi yang ditentukan yaitu minimal sebesar 250 kg/mm.

Hubungan antara kadar aspal dan nilai VIM juga disajikan pada Tabel 4. Dari tabel tersebut terlihat bahwa peningkatan kadar aspal mengakibatkan nilai VIM mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena semakin banyak kadar aspal pada campuran, maka rongga dalam campuran akan semakin kecil. Nilai VIM yang memenuhi spesifikasi berkisar pada kadar aspal 5,5%-6,5%, di mana syarat yang ditentukan untuk nilai VIM adalah 3%-5%. Adapun nilai *voids in the mineral aggregate* (VMA) cenderung meningkat seiring dengan peningkatan kadar aspal karena volume rongga di antara butir-butir agregat akan semakin besar. Nilai VMA memenuhi spesifikasi minimal sebesar 14% pada semua kadar aspal yang diujikan. Adapun nilai *voids filled with bitumen* (VFB) berbanding lurus dengan peningkatan kadar aspal. Semakin besar kadar aspal pada campuran, maka volume rongga dalam campuran yang terisi aspal akan semakin banyak. Nilai VFB yang memenuhi spesifikasi terdapat pada kadar aspal 5,5%-6,5% dari nilai standar yang ditetapkan yaitu minimal 65%.

Menurut Direktorat Jenderal Bina Marga (2013), persyaratan Laston AC-BC untuk stabilitas Marshall adalah minimal 800 kg, *flow* 2-4 mm, Marshall *Quotient* minimal 250 kg/mm, VIM antara 3%-5%, VMA minimal 14% dan VFB minimal 65%. Berdasarkan Tabel 4, terlihat bahwa kadar aspal 5,5%, 6% dan 6,5% memenuhi seluruh persyaratan yang ditetapkan. Hanya saja, apabila penggunaan aspal

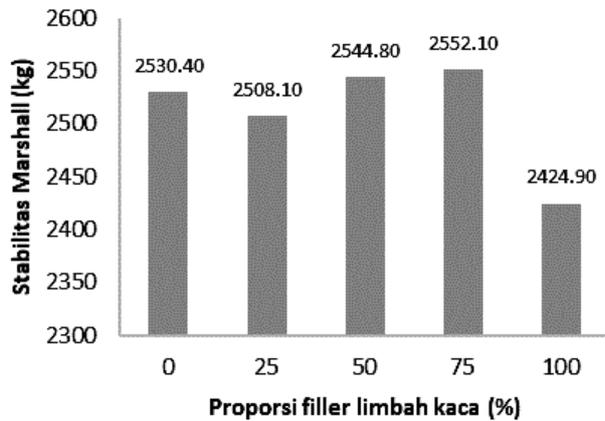
sebesar 5,5% diterapkan di lapangan, kemungkinan terjadinya keluruhan aspal pada saat pengangkutan (*draindown*) dapat mengakibatkan berkurangnya aspal pada campuran sehingga kebutuhan aspal pada campuran tersebut tidak terpenuhi. Di samping itu, *draindown* yang berdampak pada berkurangnya aspal dapat menyebabkan nilai VIM yang dihasilkan lebih besar dari nilai yang tercantum pada Tabel 4 sebesar 4,99%. Apabila nilai VIM ini menjadi lebih besar dari persyaratan yang ditetapkan sebesar 5%, air dan debu akan mudah meresap masuk ke dalam campuran sehingga mengurangi keawetannya. Di sisi lain, meskipun kadar aspal 6,5% memenuhi seluruh persyaratan yang ditetapkan, penggunaan aspal menjadi lebih boros sehingga berdampak pada lebih mahalnya biaya konstruksi perkerasan jalan. Berdasarkan hal tersebut, ditentukan kadar aspal optimum sebesar 6% yang merupakan nilai tengah kadar aspal yang memenuhi semua persyaratan.

Dengan kadar aspal 6%, dibuat campuran berikutnya menggunakan *filler* limbah kaca dengan proporsi 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% terhadap total berat *filler*. Nilai stabilitas Marshall, *flow*, Marshall *Quotient*, VIM, VMA dan VFB pada masing-masing proporsi *filler* limbah kaca disajikan pada Gambar 1 sampai Gambar 6.

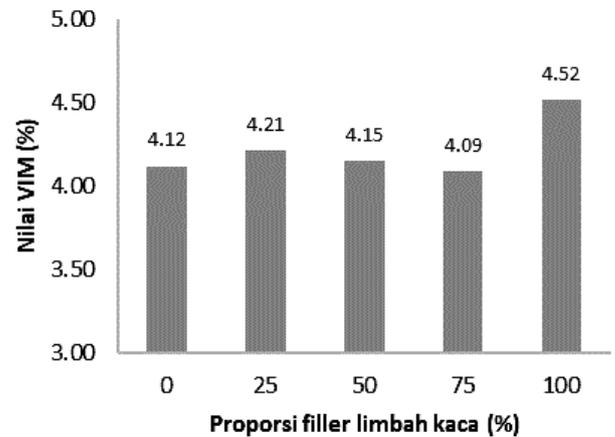
Pada seluruh campuran, jumlah *filler* adalah 6% terhadap total agregat. Gambar 1 menunjukkan hubungan antara proporsi *filler* limbah kaca dan *filler* abu batu dengan nilai stabilitas. Penggunaan *filler* limbah kaca sebesar 25% dari total berat *filler* menghasilkan nilai stabilitas yang lebih rendah dari campuran yang menggunakan 100% *filler* abu batu. Hal ini disebabkan karena *filler* limbah kaca tidak dapat mengabsorpsi aspal sehingga ikatan antara aspal dan agregat lebih kecil dari campuran yang menggunakan *filler* abu batu. Namun penggunaan 50% dan 75% *filler* limbah kaca menghasilkan nilai stabilitas yang lebih tinggi karena pada komposisi campuran ini bubuk limbah kaca dan abu batu bereaksi dengan aspal membentuk pasta yang dapat meningkatkan kekuatannya. Reaksi yang terjadi antara limbah kaca yang mengandung silika dan alumina dengan abu batu dan aspal yang meleleh akibat pencampuran secara panas menghasilkan daya ikat tertinggi pada penggunaan 75% *filler* limbah kaca. Selanjutnya penggunaan limbah kaca sebesar 100% justru menurunkan nilai stabilitas karena *filler* tersebut tidak dapat mengabsorpsi aspal.

Gambar 2 menunjukkan hubungan antara proporsi *filler* limbah kaca dan abu batu dengan nilai *flow*. Berdasarkan **Gambar 2**, campuran yang menggunakan limbah kaca 25% dari total berat *filler* menghasilkan nilai *flow* yang lebih besar dari campuran yang menggunakan 100% *filler* abu batu. Sifat kaca yang tidak mampu mengabsorpsi aspal menghasilkan ikatan yang kurang

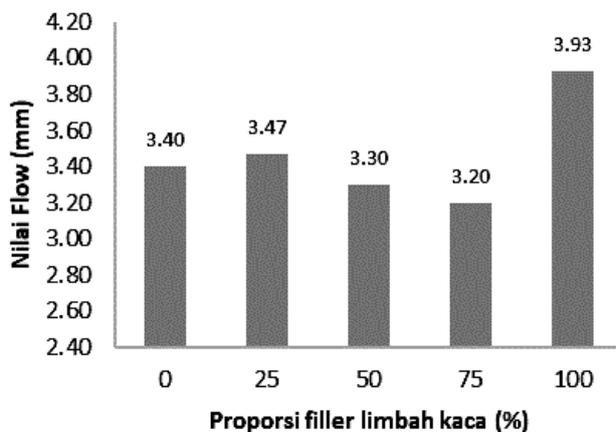
kuat sehingga campuran lebih lentur pada penggunaan 25% *filler* limbah kaca. Namun penambahan proporsi limbah kaca selanjutnya sampai batas 75% memperkecil nilai *flow*. Kandungan silika dan alumina pada limbah kaca bereaksi dengan abu batu meningkatkan kekuatan pada campuran sehingga campuran menjadi lebih kaku. Kekakuan campuran



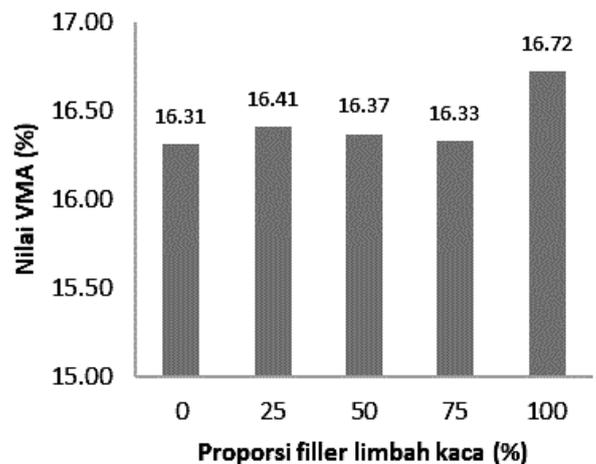
Gambar 1. Nilai stabilitas Marshall pada kadar aspal optimum



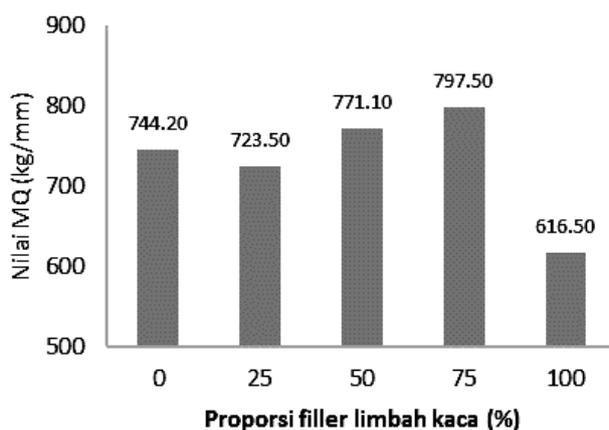
Gambar 4. Nilai VIM pada kadar aspal optimum



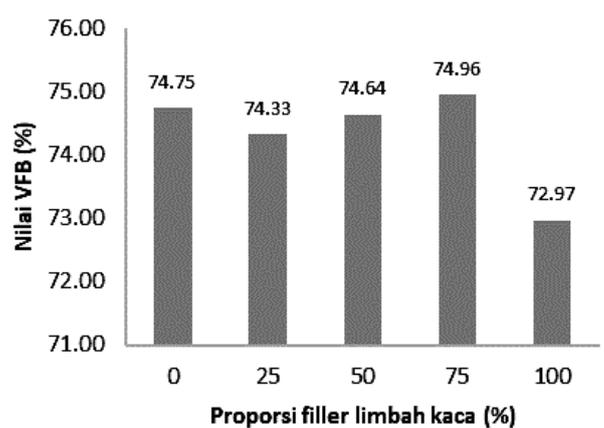
Gambar 2. Nilai flow pada kadar aspal optimum



Gambar 5. Nilai VMA pada kadar aspal optimum



Gambar 3. Nilai Marshall Quotient pada kadar aspal optimum



Gambar 6. Nilai VFB pada kadar aspal optimum

yang lebih tinggi memperkecil lendutan yang terjadi sehingga nilai *flow* yang ditimbulkan menjadi semakin rendah. Adapun penggunaan 100% *filler* limbah kaca pada campuran menghasilkan *flow* yang paling tinggi dibandingkan dengan campuran lainnya karena tanpa keberadaan *filler* abu batu, ikatan yang terbentuk pada campuran cenderung menjadi lebih lemah.

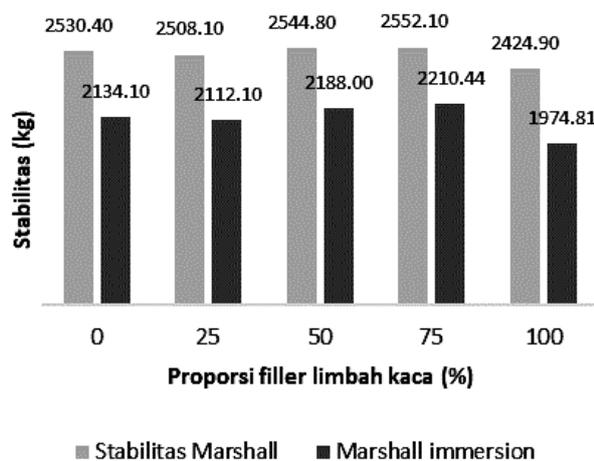
Marshall Quotient merupakan hasil bagi dari stabilitas dan *flow*, sehingga nilainya secara otomatis sangat tergantung dari kedua parameter tersebut. Nilai Marshall Quotient adalah parameter yang merepresentasikan kekakuan empiris dari campuran aspal-agregat sehingga dapat dikatakan bahwa *filler* limbah kaca cukup berpengaruh untuk meningkatkan daya dukung perkerasan terhadap pembebanan yang diberikan. Pada semua proporsi *filler* limbah kaca, nilai Marshall *Quotient* memenuhi spesifikasi yang ditentukan yaitu minimal sebesar 250 kg/mm.

Gambar 4 dan **Gambar 5** menyajikan hubungan antara proporsi *filler* limbah kaca dengan nilai VIM dan VMA. Kedua gambar tersebut menunjukkan kecenderungan yang sama, yaitu campuran dengan 100% *filler* abu batu menghasilkan nilai VIM dan VMA yang lebih besar dari campuran dengan 25% *filler* limbah kaca. Sifat limbah kaca yang tidak mampu mengabsorpsi aspal dan penggunaan 25% *filler* limbah kaca kemungkinan belum cukup menghasilkan reaksi antara limbah kaca dan abu batu yang dapat memperkuat daya ikat dalam campuran. Penambahan proporsi *filler* limbah kaca berikutnya memperkecil nilai VIM dan VMA dan mencapai minimum pada penggunaan *filler* limbah kaca sebesar 75%. Hal ini mengindikasikan bahwa pada proporsi tersebut reaksi yang terjadi antara *filler* limbah kaca dengan abu batu dengan aspal yang meleleh akibat pencampuran secara panas menghasilkan ikatan yang lebih kuat sehingga memperkecil terbentuknya rongga. Penggunaan *filler* limbah kaca sebesar 100% menghasilkan nilai VIM dan VMA yang lebih besar dari penggunaan 100% *filler* abu batu. Karakteristik dari *filler* limbah kaca yang tidak mampu mengabsorpsi aspal menghasilkan ikatan yang lebih lemah dibandingkan dengan *filler* abu batu sehingga sifat saling mengunci antara partikel-partikel agregat menjadi kecil dan rongga di antara mineral agregat yang terbentuk menjadi lebih besar. Hal ini mengakibatkan nilai stabilitas Marshall dan Marshall Quotient yang dihasilkan pada penggunaan 100% *filler* limbah kaca lebih kecil dari campuran lainnya sebagaimana yang disajikan pada **Gambar 1** dan **Gambar 3**.

Adapun perubahan nilai VFB akibat penambahan prosentase *filler* limbah kaca disajikan pada **Gambar 6**. Nilai VFB adalah prosentase selimut aspal pada partikel agregat dalam VMA. Berdasarkan gambar tersebut, terlihat bahwa penggunaan 100% *filler* abu batu menghasilkan nilai VFB yang lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan 25% *filler* limbah kaca. Sebagaimana yang telah diuraikan sebelumnya, pada proporsi 25% *filler* limbah kaca ini, ikatan yang terbentuk pada campuran kurang kuat

sehingga prosentase rongga menjadi meningkat. Dengan kadar aspal yang sama yaitu sebesar 6%, prosentase selimut aspal yang mengisi rongga secara otomatis menjadi lebih kecil. Penambahan proporsi *filler* limbah kaca selanjutnya menghasilkan nilai VFB yang semakin meningkat dan mencapai nilai tertinggi pada prosentase 75%. Pada proporsi 75% *filler* limbah kaca, reaksi yang terjadi antara kedua jenis *filler* dan aspal mencapai maksimum sehingga menghasilkan selimut aspal yang paling tebal. Sebagaimana yang disajikan pada **Gambar 5**, rongga di antara mineral agregat yang terbentuk akibat penggunaan 100% *filler* limbah kaca lebih besar dibandingkan dengan 100% *filler* abu batu, sehingga prosentase selimut aspal yang mengisi rongga menjadi kecil yang berarti memperkecil nilai VFB.

Adapun nilai Marshall *immersion* pada campuran dengan berbagai proporsi *filler* limbah kaca dapat dilihat pada **Gambar 7** berikut:

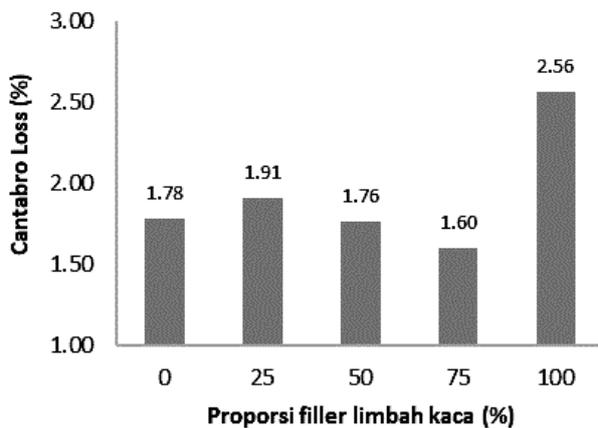


Gambar 7. Nilai Marshall *immersion* pada kadar aspal optimum

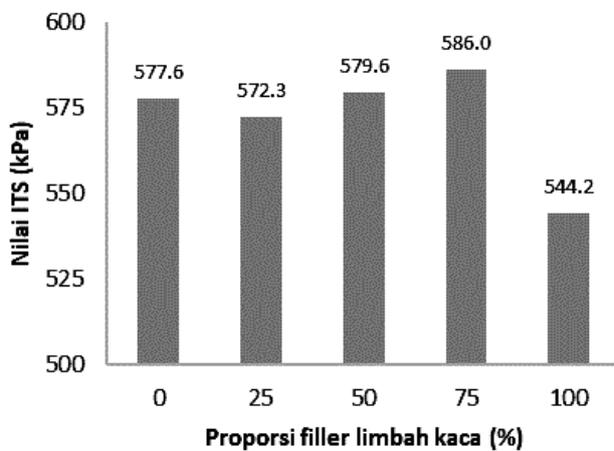
Marshall *immersion* merupakan stabilitas Marshall pada *hot mix asphalt* yang direndam selama 24 jam pada suhu 60°C. Adapun *immersion index* merupakan perbandingan antara stabilitas Marshall pada *hot mix asphalt* yang direndam selama 30 menit dengan Marshall *immersion* (perendaman 24 jam). Fenomena Marshall *immersion* ini sama dengan yang terjadi pada hasil uji stabilitas Marshall, di mana campuran yang menggunakan *filler* abu batu 100% memiliki daya tahan terhadap air yang lebih besar dibandingkan dengan campuran yang menggunakan *filler* limbah kaca 25%. Penggunaan *filler* limbah kaca sebesar 50% dapat meningkatkan nilai Marshall *immersion*, kemudian mencapai maksimum dengan proporsi penggunaan sebesar 75%. Hal ini mengindikasikan bahwa campuran yang mengandung 75% *filler* limbah kaca lebih tahan terhadap rendaman air sehingga memiliki durabilitas yang lebih tinggi. Akibat kurangnya ikatan yang terjadi pada campuran yang menggunakan 100% *filler* limbah kaca, maka daya tahan campuran tersebut terhadap air juga lebih rendah dibandingkan dengan campuran yang menggunakan 100% *filler* abu batu. Berdasarkan nilai stabilitas Marshall dan Marshall *immersion* pada **Gambar 7**,

maka *immersion index* pada masing-masing campuran tersebut berturut-turut adalah sebesar 84,38%, 84,21%, 85,98%, 86,61% dan 81,44%.

Sebagaimana yang disebutkan sebelumnya, pengujian *Cantabro loss* dilakukan untuk mengetahui daya tahan campuran terhadap disintegrasi. Semakin kecil nilai *Cantabro loss*, kekuatan campuran semakin tinggi. Penggunaan *filler* limbah kaca sebesar 75% menghasilkan nilai *Cantabro loss* yang terkecil dari semua campuran yang diujikan sebagaimana yang disajikan pada **Gambar 8**. Fenomena ini diperkuat dengan hasil uji ITS yang ditunjukkan pada **Gambar 9**. Beban terbesar yang dapat dipikul campuran sampai mencapai batas keruntuhan dihasilkan pada campuran dengan proporsi 75% *filler* limbah kaca. Pada penggunaan 100% *filler* limbah kaca, nilai *Cantabro loss* dan hasil ITS menunjukkan bahwa *performance* campuran tersebut lebih rendah dibandingkan dengan campuran lainnya.



Gambar 8. Nilai *Cantabro loss* pada kadar aspal optimum



Gambar 9. Nilai ITS pada kadar aspal optimum

Berdasarkan parameter Marshall, *flow*, Marshall *Quotient*, VIM, VMA dan VFB, seluruh proporsi *filler* limbah kaca memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan. Hasil uji Marshall *immersion*, *Cantabro loss* dan ITS juga memperkuat hasil uji pada parameter-parameter

lainnya. Berdasarkan hasil uji Marshall *immersion* bahwa campuran yang menggunakan 75% *filler* limbah kaca lebih tahan terhadap rendaman air, disarankan untuk menggunakan *filler* limbah kaca dengan proporsi tersebut dalam campuran perkerasan. Di samping itu, mengingat limbah kaca juga merupakan bahan buangan, penggunaan *filler* limbah kaca dapat mengurangi dampak negatif pembuangan limbah yang berpotensi menurunkan daya dukung lingkungan.

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. *Filler* limbah kaca yang bereaksi dengan *filler* abu batu dan aspal yang meleleh akibat pencampuran secara panas menghasilkan kinerja *hot mix asphalt* yang maksimum pada penggunaan *filler* limbah kaca sebesar 75% terhadap total berat *filler*.
2. Pada penggunaan 75% *filler* limbah kaca dan 25% *filler* abu batu, nilai VIM dan VMA mencapai minimum sedangkan nilai VFB mencapai maksimum karena pada proporsi tersebut terjadi ikatan yang lebih kuat sehingga memperkecil terbentuknya rongga dan memperbesar prosentase selimut aspal pada agregat dalam rongga di antara mineral agregat tersebut.
3. Penggunaan 75% *filler* limbah kaca menghasilkan sifat saling mengunci yang lebih tinggi sehingga meningkatkan stabilitas dan kekakuan campuran yang berarti bahwa campuran lebih mampu untuk menerima pembebanan.
4. Hasil uji Marshall *immersion* dan *Cantabro loss* menunjukkan bahwa campuran dengan proporsi 75% *filler* limbah kaca dan 25% *filler* abu batu menghasilkan campuran yang lebih tahan terhadap rendaman air sehingga memiliki durabilitas yang lebih tinggi dan lebih tahan terhadap potensi disintegrasi.
5. Penggunaan 100% *filler* abu batu menghasilkan kinerja campuran yang lebih baik dari 100% *filler* limbah kaca karena sifat limbah kaca yang tidak mampu mengabsorpsi aspal mengakibatkan ikatan yang terjadi pada campuran yang menggunakan *filler* limbah kaca lebih rendah dari campuran yang menggunakan *filler* abu batu.

Daftar Pustaka

- Alimohamadi, M.; Sanaeirad, A., 2016, *Review the Effect of Using Waste Glass on Resistive Characteristics of Glass Asphalt Mixtures*, Journal of Engineering and Applied Science 11 (4): 930-939.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1999, *Pedoman Perencanaan Campuran Beraspal dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak*, Direktorat Jenderal Bina Marga, Jakarta.

- Departemen Pekerjaan Umum, 2006, *Buku III Campuran Beraspal Panas dengan Asbuton Olahan, Pedoman Pemanfaatan Asbuton*, Direktorat Jenderal Bina Marga, Jakarta.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, 2013, *Spesifikasi Umum Edisi 2010 Revisi 3*, Kementerian Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Ghasemi, M.; Marandi, S. M., 2013, *Laboratory Studies of the Effect of Recycled Glass Powder Additive on the Properties of Polymer Modified Asphalt Binders*, International Journal of Engineering, doi:10.5829/idosi.ije.2013.26.10a.08
- Johnson, S. P., 1993, *The Earth Summit: the UN Conference on Environment & Development*: UNCED, Graham & Trotman, London.
- Jony, H. H.; Al-Rubaie, M. F.; Jahad, I.Y., 2011, *The Effect of Using Glass Powder Filler on Hot Asphalt Concrete Mixtures Properties*, Engineering & Technology Journal, Vol. 29, No. 1, pp. 44–57.
- Keerio, M. A.; Khoso, S.; Khan, J. S.; Ansari, A. A.; Bhatti, N. K., 2017, *The Effect of Waste Glass as Partial Replacement of Cement on Properties of Concrete*, Engineering Science and Technology International Research Journal, Vol. 1, No. 1.
- Kou, S. C.; Poon, C. S., 2009, *Properties of Self-Compacting Concrete Prepared with Recycled Glass Aggregate*. Cem. Concr. Compos., 31, 107-113.
- Lin, K. L.; Wang, N. F.; Shie, L.; Lee, T. C.; Lee, C., 2008, *Elucidating the Hydration Properties of Paste Containing Thin Film Transistor Liquid Crystal Display Waste Glass*. J. Hazard. Mater., 159, 471–475.
- Liu, S.; Wang, S.; Tang, W.; Hu, N.; Wei, J., 2015, *Inhibitory Effect of Waste Glass Powder on ASR Expansion Induced by Waste Glass Aggregate*, Materials 2015, 8, 6849-6862; doi:10.3390/ma8105344 www.mdpi.com/journal/materials
- Schwarz, N.; Neithalath, N., 2008, *Influence of a Fine Glass Powder on Cement Hydration, Comparison to Fly Ash and Modeling the Degree of Hydration*, Cem. Concr. Res. 38, 429–436.
- Shaw, D.E., 2000, *The Use of Fly Ash in the Manufacture of Asphalt Shingles*, Proceedings of the Fourth International Symposium on Roofing Technology, 13-118.
- Simone, A.; Mazzotta, F.; Eskandarsefat, S.; Sangiorgi, C.; Vignali, V.; Lantieri, C.; Dondi, G., 2017, *Experimental Application of Waste Glass Powder Filler in Recycled Dense Graded Asphalt Mixtures*, Road Materials and Pavement Design, DOI: 10.1080/14680629.2017.1407818
- Sukirman, S., 2007, *Beton Aspal Campuran Panas*, Yayasan Obor Indonesia, Jakarta.
- Wang, H.Y.; Huang, W. L., 2010a, *A Study on the Properties of Fresh Self-Consolidating Glass Concrete*. Constr. Build. Mater., 24, 619-624.
- Wang, H.Y.; Huang, W. L., 2010b, *Durability of Self-Consolidating Concrete Using Waste LCD Glass*. Constr. Build. Mater., 24, 1008-1013.
- Wu, S.; Yang, W.; Xue, Y., 2007, *Preparation and Properties of Glassasphalt Concrete*, Wuhan University of Technology: Key Laboratory for Silicate Materials Science and Engineering of Ministry of Education.