

## PENGARUH KADAR LIMBAH KACA SEBAGAI SUBSTITUSI AGREGAT HALUS TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN ASPAL PORUS

Miftahul Fauziah<sup>1</sup>Fitri Sari Wijayati<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan,  
Universitas Islam Indonesia

Email: *miftahul.fauziah@uii.AC.id*

<sup>2</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan,  
Universitas Islam Indonesia

Email: *fitri.swjy@yahoo.com*

### ABSTRACT

*Porous asphalt allows water to be more easily drained from the road surface into asphalt concrete pavement. It absorbs rainwater through the coarse aggregate, this may be a solution of flooding at most cities in Indonesia which is caused by continuous rain. Glass is one of waste that had not been much recycled and need to be considered, By using glass as a material substitution is expected to be longlife and has a strength equals or even better on asphalt mixtures. This research was conducted in order to find the effect of substitution levels of glass on Marshall characteristics, durability, value of indirect tensile strength, abrasion resistance and permeability according to specifications of Australia Asphalt Pavement Association (AAPA) 2004. The research was carried out by using variant levels of substitution glass on fine aggregate No.8 in mixture that are 0%, 10%, 20%, 30%, and 40%. The results show that the glass waste on fine aggregate No.8 can be used in porous asphalt mixture only to 30% of proportion. From the Marshall test the results showed that the mixture ability to withstand a load is increasing up to optimum limit and declined thereafter at stability value then the flow level, MQ, VITM, VMA which is increasing up to optimum limit also declined after that as for VFWA level and density is declining until certain level then rising thereafter. The ability toward impact with Cantabro test result is increased up to optimum limit. The mixture homogeneous is increased, it shows from value of Asphalt Flow Down that decreased continuously with the increasing of glass waste proportion.*

**Keywords :** *Waste Glass, Porous Asphalt, AAPA 2004, Marshall Characteristic, Cantabro, Asphalt Flow Down*

### PENDAHULUAN

Peningkatan dan pengembangan aksesibilitas transportasi jalan adalah suatu hal yang sangat penting untuk menunjang aktivitas sosial dan perekonomian daerah di suatu negara. Salah satu faktor pendukung aksesibilitas suatu jaringan jalan menjadi aman dan nyaman bagi pengguna jalan yaitu dengan mendesain suatu lapis permukaan perkerasan jalan yang akan tetap memuaskan selama masa layannya. Hujan intensitas tinggi menjadi salah satu permasalahan pada lapis permukaan perkerasan jalan. Hujan ini akan mengakibatkan berbagai permasalahan yaitu genangan air yang tidak dapat mengalir cepat melalui as jalan dan menyerap cepat kedalam

lapisan aspal membuat air menggenang sehingga jalan tergerus, menimbulkan permukaan yang licin dan menyebabkan kebisingan. Salah satu alternatif untuk mengurangi dampak yang ditimbulkannya yaitu dengan menggunakan lapisan perkerasan aspal porus (*porous asphalt*).

Aspal porus menyerap air hujan melalui agregat kasar yang dirancang sehingga air tidak akan naik ke lapisan atas, setelah itu menyusup kedalam hingga ke lapisan *geotextile* yang kemudian mengalirkan air untuk dibuang. Hal ini dapat menjadi solusi dari hujan yang selalu datang dan mengakibatkan banjir di sebagian besar kota di Indonesia. Karena pada dasarnya aspal porus

dapat menangani air hujan selama bertahun-tahun sebelum akhirnya menunjukkan keretakan ataupun lubang. Pada penelitian ini, akan digunakan limbah kACa sebagai bahan *Substitusi* agregat halus pada campuran aspal porus. Salah satu limbah yang tidak banyak di daur ulang adalah limbah kACa. KACa saat ini hanya digunakan untuk daur ulang pada fase yang sama, dari limbah botol kACa akan didaur ulang hanya menjadi botol kACa dan seterusnya. Dengan menggunakan kACa sebagai bahan pengganti, campuran kACa daur ulang dan batu dapat di gunakan menjadi agregat di harapkan dapat membuat ruang kosong lebih dari dua kali lipat aspal biasa, memiliki umur layan yang panjang dan memiliki kekuatan yang setara atau bahkan lebih baik di banding aspal biasa.

Dengan demikian, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penambahan limbah kACa pada campuran perkerasan aspal porus sebagai substitusi agregat halus. Apabila hasil penelitian ini menunjukkan hasil memenuhi kriteria perkerasan dan dapat meningkatkan stabilitas serta mutu campuran perkerasan sesuai dengan *Australia Asphalt Pavement Association (AAPA)* tahun 2004 maka diharapkan limbah kaca tersebut dapat digunakan sebagai bahan substitusi pada campuran perkerasan aspal porus.

## STUDI PUSTAKA

Pada Penelitian ini, dicantumkan beberapa hasil penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya yang dirasa memiliki keterkaitan dan dapat digunakan sebagai studi pustaka. Penelitian-penelitian terdahulu yang berhubungan dengan penelitian ini diantaranya adalah.

Arsyad (2012) melakukan penelitian mengenai pengaruh penambahan anti stripping (*wetfix-be*) terhadap aspal porus dengan menggunakan bahan pengikat *liquid asbuton*, dapat di ketahui bahwa dari hasil pengujian karakteristik aspal porus diperoleh nilai *Marshall Quotient* yang memenuhi spesifikasi hanya pada kadar *wetfix-be* 0,2% - 0,31% dan pengujian *Cantabro* nilai memenuhi spesifikasi hanya pada kadar *wetfix-be* 0,34%

- 0,4%, sedangkan untuk pengujian *VIM*, *Stabilitas*, *Flow*, *Porositas*, *Permeabilitas*, dan *Drain-Down* secara keseluruhan nilai kadar *wetfix-be* 0,2% - 0,4% memenuhi standar spesifikasi.

Penelitian mengenai evaluasi kinerja aspal porus dengan menggunakan spesifikasi gradasi dari *Australia (AAPA)*, *California (CalAPA)* dan *British (BA)* dilakukan oleh Putri dkk. (2013) Penelitian ini menggunakan 3 standar gradasi porus yaitu *Australia (AAPA)*, *California (CalAPA)* dan *British (BS)*. Untuk spesifikasi karakteristik *Marshall* mengACu pada standar *Australia (AAPA)*, dari masing-masing standar gradasi dibuat 12 benda uji dengan variasi kadar aspal 4%-7%. Pengujian permeabilitas pada penelitian ini menggunakan uji falling head yaitu dengan menghitung waktu yang dibutuhkan untuk mengalirkan air dri h1 menuju h2.

Djakfar dkk. (2015) melakukan penelitian mengenai pengaruh penambahan additive terhadap kinerja *Marshall* pada campuran aspal porus. Bahan *additive* yang digunakan yaitu *Gilsonite HMA Modifer Grade* dan *Lateks*.

Penelitian tentang limbah kACa penah dilakukan oleh Jasim (2014) mengenai penggunaan limbah kACa sebagai agregat kedua untuk campuran aspal. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi akibat dari penggunaan limbah kACa sebagai agregat pengganti pada campuran aspal dengan pengujian *Marshall*.

Perbedaan penelitian ini dengan penelitian terdahulu adalah pada penelitian ini menggunakan limbah kACa sebagai substitusi agregat halus dengan jenis campurannya adalah aspal porus dan peraturan spesifikasi yang dipakai adalah *Australia Asphalt Pavement Association (AAPA)* 2004.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan jenis campuran aspal porus dan menggunakan jenis aspal keras dengan penetrasi 60/70 dari PT.Pertamina Aspal Cilacap. Agregat yang akan digunakan berasal dari Clereng dan bahan substitusi yang akan digunakan yaitu

limbah kaca dari botol bekas. Pengujian dan analisis kimia terhadap kaca tidak dilakukan. Kadar limbah kACa yang akan digunakan adalah 0%, 10%, 20%, 30% dan 40% dari total berat agregat halus yang lolos saringan No.4 dan tertahan di saringan No.8 pada campuran. Dalam campuran ini gradasi yang akan digunakan adalah gradasi menurut *Australia Asphalt Pavement Association (AAPA) 2004* dengan kombinasi agregat pada Tabel 1 berikut.

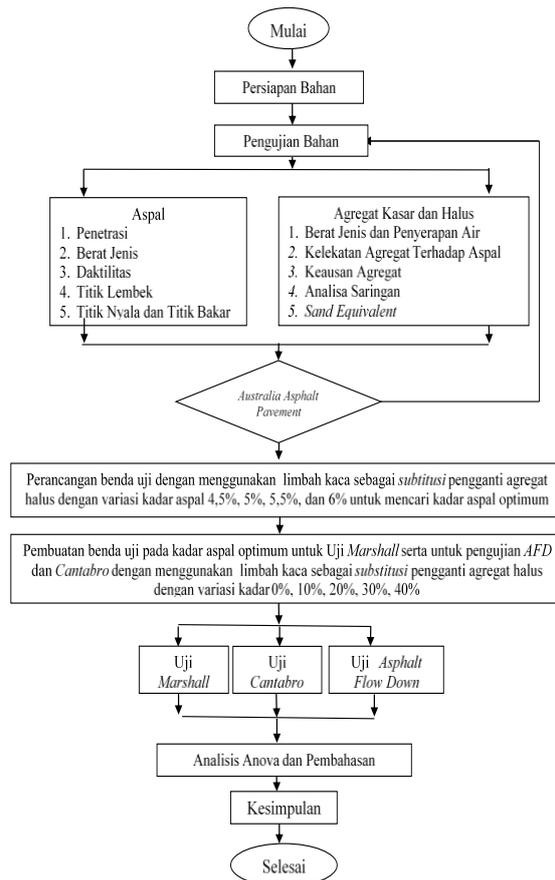
Tabel 1. Batasan Gradasi Agregat Campuran Aspal Porus

Ukuran Ayakan	% Berat Yang Lolos
(mm)	Ag. Maks.14 mm
19,000	100
12,700	85-100
9,530	45-70
4,760	10-25
2,380	7-15
1,190	6-12
0,595	5-10
0,297	4-8
0,149	3-7
0,074	2-5
Total	100
<b>Kadar Aspal</b>	<b>4,5 – 6,0</b>

Flowchart pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

#### Analisis Hasil dan Pembahasan

Analisis hasil dan pembahasan yang akan dibahas yaitu karakteristik bahan, hasil pengujian untuk kadar aspal optimum dan hasil pengujian pada kadar aspal optimum dengan menggunakan limbah kaca.



Gambar 1 Bagan Alir penelitian

#### Hasil Pengujian Karakteristik Bahan

Pengujian karakteristik bahan yang dilakukan adalah pengujian aspal AC 60/70 pada Tabel 2, pengujian agregat kasar pada Tabel 3, pengujian agregat halus pada Tabel 4, pengujian agregat halus dari limbah kaca pada Tabel 5 dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 2. Hasil pengujian AC 60/70

No.	Jenis Pengujian	Nilai Persyaratan	Hasil
1	Berat Jenis	$\geq 1,0$	1,09
2	Penetrasi (0,1 mm)	60 – 70	68,3
3	Daktilitas (cm)	$\geq 100$	165
4	Titik Nyala ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\geq 232$	312
5	Kelarutan TCE (%)	$\geq 99$	99,5
6	Titik Lembek ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\geq 48$	48

Tabel 3. Hasil pengujian Agregat Kasar

No	Jenis Pengujian	Nilai Persyaratan	Hasil
1	Berat Jenis	> 2,5	2,732
2	Penyerapan Air oleh Agregat (%)	< 3	2,71
3	Kelekatan Agregat Terhadap Aspal (%)	> 95	99
4	Keausan <i>Loss Angeles</i> (%)	< 40	26,04

Tabel 4. Hasil pengujian Agregat Halus

No.	Jenis Pengujian	Nilai Persyaratan	Hasil
1	Berat Jenis	>2,5	2,837
2	Penyerapan Air oleh Agregat (%)	< 3	2,51
3	<i>Sand Equivalent</i> (%)	> 50	78,38

Tabel 5. Hasil pengujian Agregat Halus dari Limbah Kaca

No.	Jenis Pengujian	Nilai Persyaratan	Hasil
1	Berat Jenis	>2,5	1,467
2	Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	< 3	0,708

### Hasil Pengujian untuk Kadar Aspal Optimum

Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan nilai kadar aspal optimum dari hasil pengujian *Marshall*, *Cantabro* dan *Asphalt Flow Down*. Hasil pengujian *Marshall* dapat dilihat pada Tabel 6, dan pengujian *Cantabro* dan *AFD* pada Tabel 7 berikut.

Tabel 6. Hasil Pengujian *Marshall* untuk KAO

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/m <sup>3</sup> )	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
4,5	535,6	4,00	139,83	18,54	31,48	27,11	2,06
5	606,2	3,78	160,87	18,06	34,31	27,54	2,06
5,5	598,5	3,74	165,94	17,61	37,16	27,99	2,06
6	507,1	4,35	116,89	17,24	39,60	28,54	2,05
Spesifikasi	> 500	>2	< 400	18-25			

Tabel 7. Hasil Pengujian *Cantabro* dan *AFD* untuk KAO

Kadar Aspal (%)	<i>Cantabro</i> (kg)	<i>AFD</i> (%)
4,5	35,35	0,15
5	33,87	0,20
5,5	39,97	0,48
6	25,56	0,88
Spesifikasi	≤ 35	≤ 30

Tabel 8. Rekapitulasi Hasil Kadar Aspal Optimum

No	Pengujian	Nilai
1	<i>Cantabro Loss</i>	4,60
2	<i>VITM</i>	5,01
3	Rata-Rata <i>Cantabro</i> dan <i>VITM</i>	4,81
4	<i>AFD</i>	0,17
5	Aspal Optimum	5,0

Berdasarkan Tabel 8 diatas dapat dilihat bahwa dengan menggunakan *Cantabro Loss* pada 35% untuk mendapatkan batas kadar aspal minimum yang dapat digunakan yaitu dengan nilai 4,60. Selanjutnya nilai *VITM* pada 18% digunakan untuk mendapatkan batas maksimum kadar aspal didapatkan hasil 5,01. Nilai rata-rata dari kedua hasil grafik didapatkan 4,81 yang kemudian nilai tersebut diplot pada grafik *Asphalt Flow Down* dan mendapatkan hasil 0,17. Sehingga dapat diketahui aspal optimum yang dapat digunakan adalah 5,0.

### Hasil Pengujian pada KAO

Berikut adalah rekapitulasi hasil pengujian *Marshall*, *Cantabro* dan *Asphalt Flow Down* pada kadar aspal optimum yang dapat dilihat pada Tabel 9 dan Tabel 10 berikut.

Tabel 9. Rekapitulasi Hasil Pengujian *Marshall* pada Kadar Aspal Optimum

Kadar Kaca (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
0	519,59	2,54	205,55	19,87	32,10	29,01	2,05
10	612,38	2,78	220,72	20,75	30,26	30,26	2,02
20	653,31	2,67	248,05	21,52	30,20	30,54	2,01
30	565,84	2,51	230,37	20,32	31,33	29,67	2,03
40	431,74	2,35	182,95	19,48	32,67	28,92	2,06
<b>Spesifikasi</b>	<b>&gt; 500</b>	<b>&gt;2</b>	<b>&lt; 400</b>	<b>18-25</b>			

Tabel 10. Rekapitulasi Hasil Pengujian *AFD* dan *Cantabro*

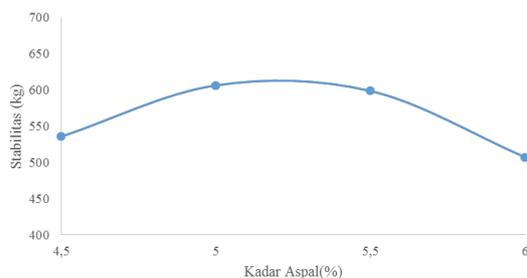
Kadar KACa (%)	Asphalt Flow Down (%)	Kehilangan Berat Rerata (%)
0	0,24	30,81
10	0,20	28,82
20	0,17	27,89
30	0,14	29,01
40	0,11	31,19

### Karakteristik *Marshall* untuk Mencari Kadar Aspal Optimum

Salah satu hal yang dibutuhkan untuk mencari kadar aspal optimum yaitu dari karakteristik *Marshall*. Karakteristik *Marshall* terdiri atas stabilitas, *flow*, *Marshall Quotient*, *void in total mix*, *VFWA*, *VMA*, dan *density*.

#### 1. Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan campuran beton aspal menahan beban sampai terjadi deformasi akibat beban yang bekerja tanpa mengalami perubahan bentuk. Grafik hubungan antara kadar aspal dan nilai stabilitas dapat dilihat pada Gambar 2 berikut ini.



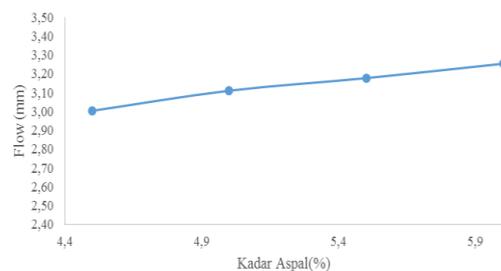
Gambar 2. Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai Stabilitas

Penambahan aspal diatas batas maksimum akan menyebabkan penurunan stabilitas dan

menghasilkan suatu perkerasan yang cenderung bersifat plastis. Penurunan nilai stabilitas juga disebabkan oleh kadar aspal yang pada awalnya berfungsi sebagai pengikat antar agregat akan menjadi pelicin setelah melampaui batas optimum, sehingga gaya saling mengunci antar agregat dalam campuran semakin menurun.

#### 2. Flow

Nilai *flow* untuk mencari kadar aspal optimum dapat dilihat dari grafik hubungann antara kadar aspal dan nilai *flow* pada Gambar 3 berikut ini.

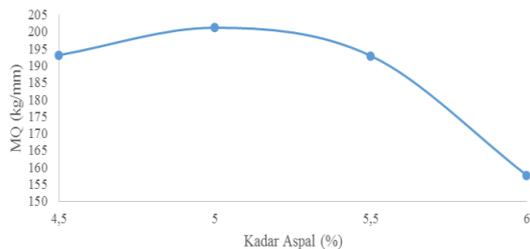


Gambar 3. Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai *flow*

Dapat dilihat bahwa seiring dengan penambahan kadar aspal nilai *flow* mengalami peningkatan.. Hal ini disebabkan oleh kadar aspal pada campuran aspal porus yang semakin meningkat. Suatu campuran yang memiliki nilai *flow* tinggi dengan stabilitas yang rendah cenderung menjadi plastis dan mudah dibentuk, sedangkan campuran yang memiliki nilai *flow* rendah dan stabilitas tinggi cenderung kaku sehingga mudah mengalami retak atau getas apabila menerima beban yang melebihi daya dukungnya.

#### 3. *Marshall Quotient*

Nilai *Marshall Quotient* merupakan perbandingan antar nilai stabilitas dan nilai *flow*. Nilai *Marshall Quotient* pada perencanaan perkerasan dengan metode *Marshall* digunakan sebagai pendekatan nilai fleksibilitas dari suatu lapis perkerasan. Nilai *MQ* dapat dilihat pada grafik hubungan antara kadar aspal dan nilai *MQ* pada Gambar 4 berikut ini.



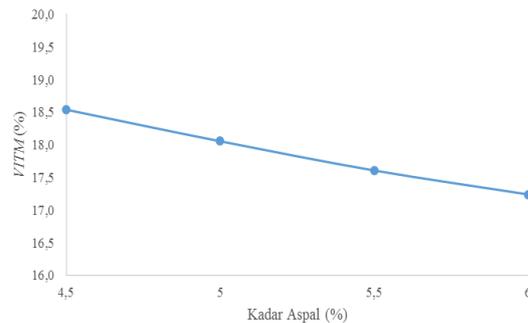
Gambar 4. Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai *MQ*

Berdasarkan grafik pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa nilai *Marshall Quotient* mengalami peningkatan setelah mencapai batas maksimum mengalami penurunan seiring dengan pertambahan kadar aspal. Hal ini disebabkan karena pada campuran aspal porus kadar aspal semakin meningkat dan juga dipengaruhi oleh nilai stabilitas. Dapat dilihat pada kadar 4,5% dan 5% nilai stabilitas mengalami kenaikan namun pada kadar 5,5% dan 6% nilai stabilitas mengalami penurunan, sedangkan pada nilai *flow* terus mengalami kenaikan dari kadar 4,5% hingga 6%. Hal ini menunjukkan bahwa campuran dengan kadar 4,5% dan 5% cenderung lebih plastis menerima beban dan pada kadar 5,5% dan 6% cenderung lebih getas karena nilai *MQ* didapatkan dari perbandingan nilai stabilitas dan *flow*, sehingga nilai stabilitas dan *flow* akan mempengaruhi besarnya nilai *MQ*.

#### 4. Void in Total Mix

*VITM* merupakan persentase banyaknya rongga yang terdapat dalam suatu campuran terhadap total volume aspal dan agregat. Nilai *VITM* untuk mencari kadar aspal optimum dapat dilihat dari grafik hubungan antara kadar aspal dan nilai *VITM* pada Gambar 5 berikut ini.

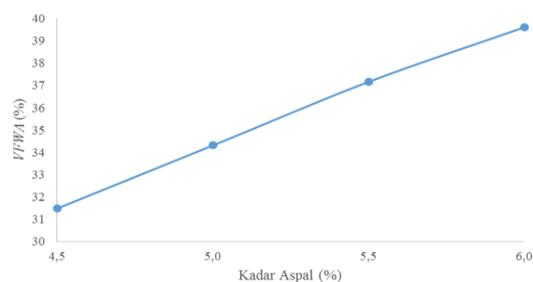
Nilai *VITM* dalam suatu campuran dibutuhkan dapat mengetahui besarnya rongga yang terdapat dalam suatu campuran dan menurut *AAPA* (2004). Nilai *VITM* mempunyai batas maksimum dan minimum. Berdasarkan grafik pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa seiring dengan penambahan kadar aspal *VITM* mengalami penurunan. Hal ini disebabkan rongga udara yang terisi aspal semakin besar dan memperkecil volume rongga udara, berarti campuran tersebut semakin rapat.



Gambar 5. Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai *VITM*

#### 5. VFWA

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh grafik nilai *VFWA* pada berbagai kadar aspal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6 berikut ini.

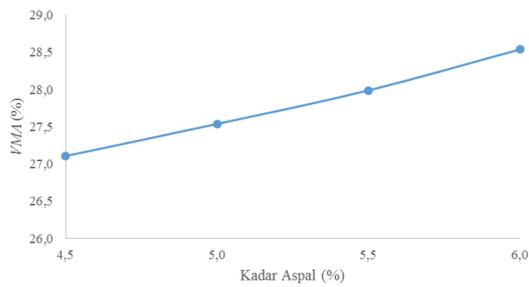


Gambar 6. Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai *VFWA*

*VFWA* (*Void Filled With Asphalt*) menunjukkan persentase rongga terisi aspal pada suatu campuran setelah dipadatkan. Besarnya nilai *VFWA* juga sebagai indikasi besarnya rongga yang terisi oleh aspal sehingga dapat mengetahui kedekatan suatu campuran terhadap air dan udara yang terdapat pada penelitian ini. Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat bahwa seiring dengan penambahan kadar aspal maka nilai *VFWA* semakin meningkat, hal ini disebabkan oleh kadar aspal pada campuran aspal porus yang semakin meningkat.

#### 6. VMA

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh grafik nilai *VMA* pada berbagai kadar aspal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7 berikut ini.

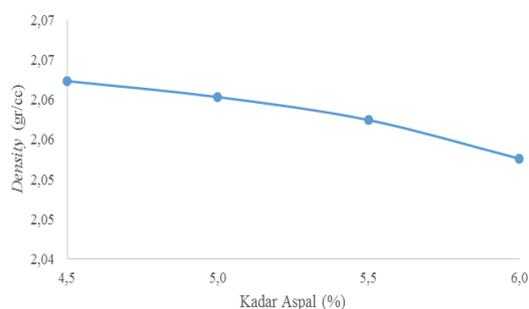


Gambar 7. Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai VMA

VMA menunjukkan persentase banyaknya pori antara butir-butir agregat dalam campuran, atau bisa dinyatakan sebagai persentase rongga yang dapat ditempati aspal dan udara. Nilai VMA pada umumnya mengalami penurunan sampai batas maksimum dan akan naik berdasarkan naiknya kadar aspal. Nilai VMA dipengaruhi oleh gradasi agregat, jumlah tumbukan dan kadar aspal. Berdasarkan grafik pada Gambar 7 dapat dilihat bahwa nilai VMA cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya kadar aspal yang menyebabkan film aspal lebih tebal, sehingga jarak antar agregat semakin besar.

#### 7. Density

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh grafik nilai *density* pada berbagai kadar aspal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8 berikut ini.



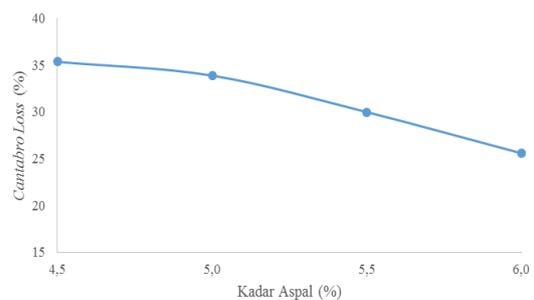
Gambar 8. Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai Density

*Density* menunjukkan kepadatan suatu campuran setelah mengalami pemadatan. Semakin tinggi nilai *density* suatu campuran menunjukkan kerapatannya semakin baik. Berdasarkan grafik pada Gambar 8 dapat dilihat bahwa nilai *density* pada campuran aspal porus menurun seiring penambahan

kadar aspal. Hal ini disebabkan oleh semakin meningkatnya kadar aspal, jumlah aspal yang dapat mengisi rongga antar butir semakin besar, sehingga campuran menjadi semakin rapat.

#### Karakteristik *Cantabro* untuk Mencari Kadar Aspal Optimum

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh grafik nilai *Cantabro* pada berbagai kadar aspal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9 berikut ini.

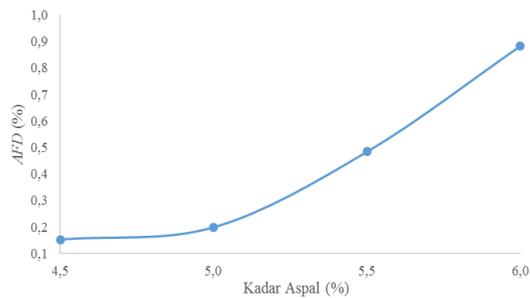


Gambar 9 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai *Cantabro*

Berdasarkan Gambar 9 dapat dilihat bahwa nilai *Cantabro* semakin menurun seiring dengan pertambahan kadar aspal. Penurunan pada hasil pengujian *Cantabro* menunjukkan bahwa ketahanan campuran terhadap benturan cenderung meningkat, hal ini disebabkan kehilangan berat pada campuran yang semakin kecil dengan persentase penambahan kadar aspal.

#### Karakteristik *Asphalt Flow Down* untuk Mencari Nilai Kadar Aspal Optimum

*Asphalt Flow Down* menunjukkan kadar aspal maksimum yang tercampur homogen dengan agregat tanpa terjadinya pemisahan aspal. Grafik hubungan antara kadar aspal dan nilai *Asphalt Flow Down* dapat dilihat pada Gambar 10 berikut ini.



Gambar 10 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai *Asphalt Flow Down*

Berdasarkan Gambar 10 dapat dilihat bahwa nilai *Asphalt Flow Down* semakin meningkat seiring dengan pertambahan kadar aspal. Peningkatan pada hasil pengujian *Asphalt Flow Down* menunjukkan bahwa pemisahan aspal pada campuran cenderung meningkat, hal ini disebabkan pemisahan aspal pada campuran yang semakin besar dengan persentase penambahan kadar aspal.

### Karakteristik *Marshall* pada Kadar Aspal Optimum

Untuk mengetahui karakteristik *Marshall* pada kadar aspal optimum dengan menggunakan limbah kaca No.8 sebagai bahan substitusi agregat halus maka dilakukan penelitaian Karakteristik *Marshall* terdiri dari stabilitas, *flow*, *Marshall Quotient*, *void in total mix*, *VFWA*, *VMA*, dan *density*.

#### 1. Stabilitas

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh hasil hubungan antara kadar substitusi kaca dengan nilai stabilitas pada campuran porus seperti yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 11 berikut.

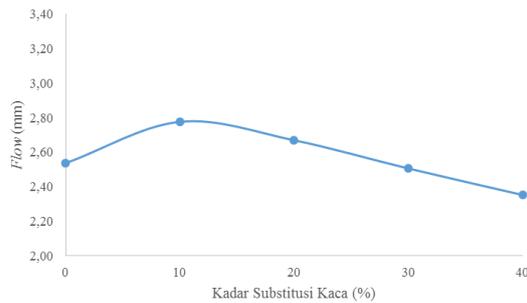


Gambar 11 Grafik Hubungan antara Kadar Substitusi Kaca dengan Stabilitas

Berdasarkan grafik pada Gambar 11 dapat dilihat bahwa semakin besar persentase penambahan substitusi kaca nilai stabilitas semula mengalami kenaikan akan turun setelah mencapai nilai optimumnya pada kadar substitusi 20%, dengan demikian berdasarkan analisis anova peningkatan dan penurunan yang terjadi pada nilai stabilitas akibat penambahan substitusi kaca tidak signifikan. Stabilitas campuran aspal porus yang menggunakan kadar substitusi kaca dengan aspal yang tercampur dalam jumlah yang optimal (5%) dapat menyelimuti agregat, serta di campur dan dipadatkan pada temperatur yang tepat sehingga mempunyai sifat saling mengunci (*interlock*) yang baik. Sebaliknya yang terjadi pada penurunan stabilitas dikarenakan campuran memiliki rongga yang lebih besar akibat penambahan substitusi kaca dan aspal yang dicampur tidak cukup kuat untuk mengunci antar agregat. Hal ini disebabkan beberapa faktor yaitu perbedaan berat jenis substitusi kaca dengan Clereng. Lalu akibat penyerapan substitusi kaca yang rendah sehingga menyebabkan ikatan aspal dengan agregat bertambah dan menyebabkan kenaikan terhadap nilai stabilitas. Faktor lainnya yang mempengaruhi adalah pada berat yang sama campuran yang menggunakan substitusi kaca mempunyai volume yang lebih banyak, sehingga mengakibatkan kebutuhan aspal semakin besar dan menurunkan stabilitasnya.

#### 2. *Flow*

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh hasil hubungan antara kadar substitusi kaca dengan nilai *flow* pada campuran porus seperti yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 12 berikut ini.



Gambar 12 Grafik Hubungan antara Kadar Substitusi Kaca dengan Flow

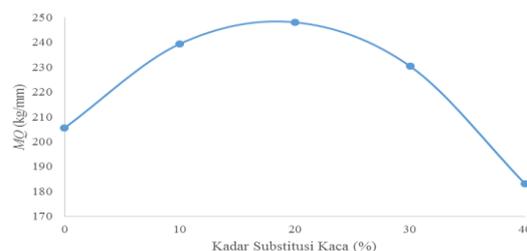
Berdasarkan grafik pada Gambar di atas dapat dilihat bahwa nilai *flow* semakin naik hingga nilai tertentu lalu kemudian turun setelah mencapai nilai optimumnya pada kadar substitusi 10% seiring dengan meningkatnya proporsi kadar substitusi kaca dalam campuran aspal porus, meskipun demikian peningkatan dan penurunan yang terjadi pada nilai *flow* dengan analisis anova akibat penambahan substitusi kaca memiliki hasil tidak signifikan. Peningkatan pada nilai *flow* menunjukkan bahwa kelelahan campuran porus semakin meningkat dan kelenturan campuran semakin baik. Hal ini disebabkan oleh semakin besar substitusi kaca maka nilainya meningkat hingga nilai tertentu kemudian turun setelah mencapai nilai optimumnya, dikarenakan Aspal yang seharusnya menyelimuti agregat banyak diserap oleh *filler* karena penyerapan agregat halus limbah kaca lebih kecil dibanding dengan Clereng dan berat jenis kaca yang rendah membuat volume semakin banyak pada berat yang sama sehingga menurunkan nilai *flow*.

### 3. Marshall Quotient

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh hasil hubungan antara kadar substitusi kaca dengan nilai *Marshall Quotient* pada campuran porus seperti yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 13 berikut ini.

Berdasarkan grafik pada Gambar 13 dapat dilihat bahwa nilai *Marshall Quotient* semakin naik hingga nilai tertentu lalu kemudian turun setelah mencapai nilai optimum pada kadar

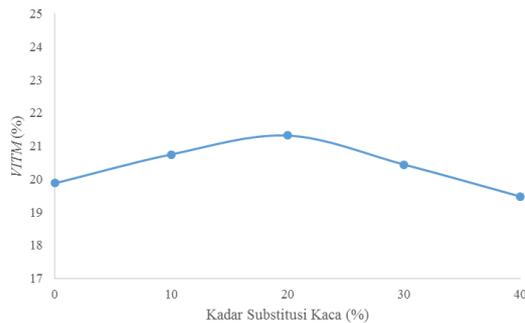
substitusi 20% seiring dengan meningkatnya proporsi kadar substitusi kaca dalam campuran aspal porus, meskipun demikian dengan analisis anova diketahui peningkatan yang terjadi pada nilai *Marshall Quotient* akibat penambahan substitusi kaca tidak signifikan. Nilai stabilitas yang semakin tinggi hingga optimum kemudian menjadi rendah dan nilai *flow* yang semakin tinggi hingga optimum kemudian menjadi rendah menyebabkan kenaikan dan penurunan pada nilai *Marshall Quotient*. Secara umum campuran porus dengan kadar limbah kaca mempunyai nilai *Marshall Quotient* yang lebih besar dibandingkan dengan campuran tanpa menggunakan limbah kaca. Hal ini disebabkan nilai stabilitas campuran tandap menggunakan limbah kaca memiliki stabilitas yang lebih rendah dan nilai *flow*-nya lebih rendah, sehingga menunjukkan bahwa campuran dengan menggunakan limbah kaca cenderung lebih plastis menerima beban. Namun hal ini tidak terjadi pada semua kadar limbah kaca, karena pada kadar limbah kaca 30% dan 40% nilai *Marshall Quotient* mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan pada nilai stabilitas kadar substitusi kaca 30% dan 40% mengalami penurunan dan juga terjadi pada nilai *flow*-nya sehingga membuat nilai *Marshall Quotient* yang cenderung semakin menurun.



Gambar 13 Grafik Hubungan antara Kadar Substitusi Kaca dengan MQ

### 4. Void in Total Mix

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh hasil hubungan antara kadar substitusi kaca dengan nilai *VITM* pada campuran porus seperti yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 14 berikut ini.

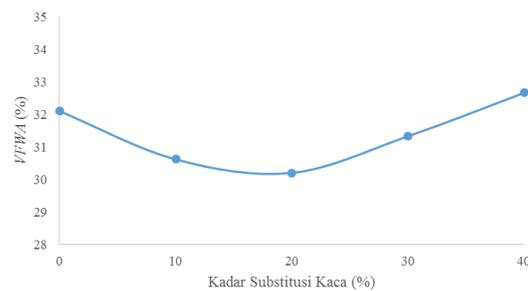


Gambar 14 Grafik Hubungan antara Kadar Substitusi Kaca dengan *VITM*

Berdasarkan grafik pada Gambar 14 dapat dilihat bahwa nilai *VITM* semakin naik hingga nilai tertentu yaitu pada kadar substitusi 20%, lalu kemudian turun setelah mencapai nilai optimumnya seiring dengan meningkatnya proporsi kadar substitusi kaca dalam campuran aspal porus, dan dengan analisis anova diketahui bahwa peningkatan dan penurunan yang terjadi pada nilai *VITM* akibat penambahan substitusi kaca adalah signifikan. Campuran porus yang menggunakan substitusi kaca mempunyai nilai *VITM* yang cenderung lebih besar dibanding dengan campuran porus yang tidak menggunakan substitusi kaca, namun pada kadar substitusi kaca tertentu nilai *VITM* cenderung lebih kecil dibanding yang tidak menggunakan kaca. Kenaikan pada *VITM* menunjukkan rongga yang ada dalam campuran semakin besar dan setelah mencapai nilai optimum akan menurun menjadi lebih kecil lalu membuat campuran lebih rapat dan mengalami penurunan nilai *VITM*. Hal ini disebabkan beberapa faktor yaitu gradasi agregat, berat jenis kaca dan kadar optimum pada campuran, rongga udara yang terisi aspal semakin kecil hingga kadar substitusi kaca 20% dan meningkat setelahnya dan membuat campuran tersebut semakin rapat.

#### 5. *VFWA*

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh hasil hubungan antara kadar substitusi kaca dengan nilai stabilitas pada campuran porus seperti yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 15 berikut ini.

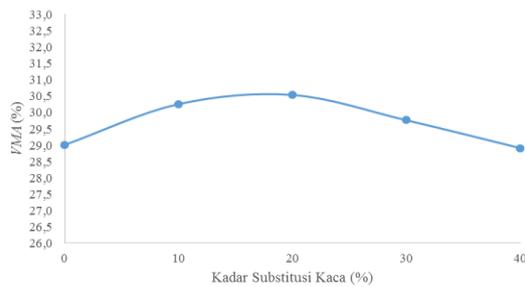


Gambar 15 Grafik Hubungan antara Kadar Substitusi Kaca dengan *VFWA*

Berdasarkan grafik pada Gambar 15 dapat dilihat bahwa nilai *VFWA* semakin rendah hingga nilai 20% lalu kemudian naik seiring dengan meningkatnya proporsi kadar substitusi kaca dalam campuran aspal porus, dengan analisis anova dapat diketahui bahwa peningkatan yang terjadi pada nilai *VFWA* akibat penambahan substitusi kaca adalah signifikan. Penurunan nilai *VFWA* pada campuran porus disebabkan berat jenis yang kecil sehingga membuat volume pada substitusi kaca bertambah dan membuat banyak rongga dalam campuran tidak terisi aspal. Faktor yang mempengaruhi nilai *VFWA* adalah gradasi agregat, kadar aspal, dan jumlah. Pada kadar substitusi kaca 20% nilai *VITM* mencapai nilai tertingginya yang mengakibatkan nilai *VFWA* pada persentase kadar yang sama mengalami penurunan hingga mencapai nilai terendahnya, hal ini dikarenakan banyaknya rongga yang terbentuk namun berkurangnya persen rongga yang terisi aspal karena aspal telah tercampur secara homogen sehingga membuat rongga udara antar butir agregat menjadi lebih banyak.

#### 6. *VMA*

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh hasil hubungan antara kadar substitusi kaca dengan nilai *VMA* pada campuran porus seperti yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 16 berikut ini.



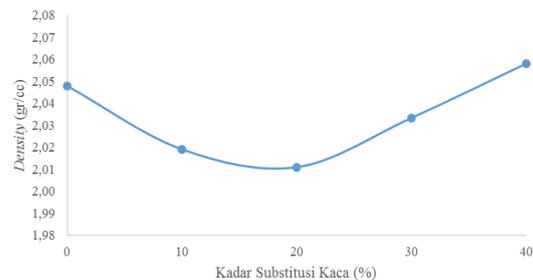
Gambar 16 Grafik Hubungan antara Kadar Substitusi Kaca dengan VMA

Berdasarkan grafik pada Gambar 16 dapat dilihat bahwa nilai VMA semakin naik hingga nilai 20% lalu kemudian turun setelah mencapai nilai optimanya seiring dengan meningkatnya proporsi kadar substitusi kaca dalam campuran aspal porus, dan dengan menggunakan analisis anova dapat diketahui bahwa secara keseluruhan peningkatan dan penurunan yang terjadi pada nilai VMA akibat penambahan substitusi kaca adalah signifikan. Peningkatan nilai VMA pada campuran porus menunjukkan bahwa rongga udara dan kadar aspal efektif yang menyelimuti agregat semakin meningkat. Hal ini disebabkan oleh karena semakin besarnya substitusi kaca ke dalam campuran porus kadar aspal optimum semakin meningkat dan juga dipengaruhi oleh *density* yang menunjukkan kepadatan campuran yang semakin menurun. Kadar aspal optimum yang dihasilkan semakin meningkat bisa disebabkan oleh berat jenis substitusi kaca yang lebih kecil dibandingkan dengan Clereng, sehingga menaikkan nilai VMA dalam campuran porus. Namun hal ini hanya dapat terjadi hingga dia menunjukkan VMA maksimum setelah itu nilai VMA mulai menurun sejalan dengan bertambahnya kadar substitusi. Penurunan ini disebabkan pula oleh berat jenis substitusi limbah kaca yang lebih kecil sehingga mengakibatkan volume yang sedikit pada berat yang sama dan mengurangi rongga yang tersedia untuk ditempati oleh aspal.

#### 7. Density

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh hasil hubungan antara kadar substitusi kaca dengan nilai *density* pada

campuran porus seperti yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 17 berikut ini.

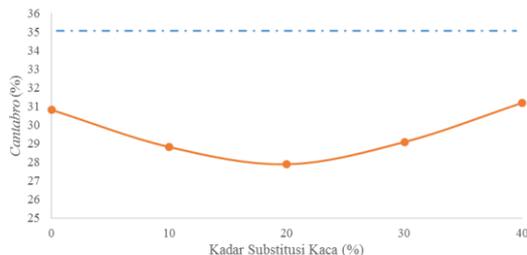


Gambar 17 Grafik Hubungan antara Kadar Substitusi Kaca dengan *Density*

Berdasarkan grafik pada Gambar 17 dapat dilihat bahwa nilai *density* semakin rendah hingga nilai kadar substitusi 20% lalu kemudian naik seiring dengan meningkatnya proporsi kadar substitusi kaca dalam campuran aspal porus, dengan demikian peningkatan dan penurunan secara keseluruhan yang terjadi pada nilai *density* akibat penambahan substitusi kaca dengan menggunakan analisis anova adalah signifikan. Penurunan ini disebabkan oleh berat jenis dari substitusi kaca yang lebih kecil dibanding Clereng, sehingga berat jenis yang lebih kecil menyebabkan volume yang lebih besar dibandingkan Clereng yang memiliki berat jenis lebih besar pada berat yang sama, namun seiring dengan penambahan substitusi kaca pada kadar tertentu nilai *density* meningkat karena rongga yang terdapat pada campuran lebih rapat. Nilai *density* merupakan perbandingan massa dan volume, oleh karena itu dengan nilai volume yang besar menghasilkan nilai *density* yang kecil hingga batas volume maksimum kemudian nilai *density* mengalami kenaikan. Pada kadar substitusi kaca 0% hingga 20% nilai *density* cenderung mengalami penurunan, hal ini menunjukkan bahwa kerapatan pada campuran dengan kadar substitusi kaca lebih rendah dibandingkan dengan kadar substitusi kaca 30% dan 40% seperti yang terlihat pada nilai VITM yang menunjukkan rongga yang terdapat dalam campuran meningkat pada kadar substitusi kaca 0% hingga 20%.

### Karakteristik *Cantabro* pada Kadar Aspal Optimum

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh hasil hubungan antara kadar substitusi kaca dengan nilai *Cantabro* pada campuran porus seperti yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 18 berikut ini.



Gambar 18 Grafik Hubungan antara Kadar Substitusi Kaca dengan *Cantabro*

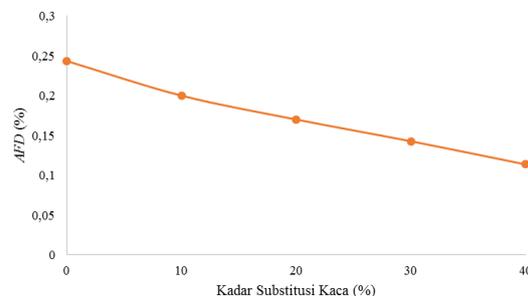
Berdasarkan Gambar 18 dapat dilihat bahwa nilai *Cantabro* semakin menurun seiring dengan penambahan kadar substitusi kaca dan meningkat setelah mencapai kadar substitusi optimumnya, meskipun demikian sesuai dengan hasil analisis anova penurunan dan kenaikan secara keseluruhan pada nilai *Cantabro* tidak signifikan. Penurunan pada pengujian *Cantabro* menunjukkan bahwa ketahanan campuran terhadap benturan cenderung meningkat dan peningkatan pada pengujian ini menunjukkan bahwa ketahanan campuran terhadap benturan cenderung menurun, hal ini disebabkan kehilangan berat pada campuran yang semakin besar dengan persentase penambahan kadar substitusi kaca.

### Karakteristik *Asphalt Flow Down* pada Kadar Aspal Optimum

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh hasil hubungan antara kadar substitusi kaca dengan nilai *Asphalt Flow Down* pada campuran porus seperti yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 19 berikut ini.

Berdasarkan Gambar 19 dapat dilihat bahwa semakin besar kadar substitusi kaca kedalam campuran porus maka nilai *Asphalt flow down* semakin kecil. Penurunan nilai *Asphalt flow down* seiring bertambahnya kadar substitusi kaca sesuai dengan analisis anova terjadi secara signifikan. Penurunan pada nilai

*Asphalt flow down* menunjukkan bahwa aspal tercampur homogen tanpa terjadinya pemisahan aspal seiring bertambahnya kadar substitusi kaca. Hal ini dikarenakan semakin bertambahnya kadar substitusi kaca yang digunakan maka semakin banyak juga volume kaca yang digunakan dengan berat yang sama sehingga aspal lebih terikat dan homogen.



Gambar 19 Grafik Hubungan antara Kadar Substitusi Kaca dengan *Asphalt Flow Down*

## SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan perhitungan dari karakteristik campuran porus aspal dengan limbah kaca sebagai substitusi agregat halus No.8 dapat disimpulkan bahwa campuran dengan menggunakan limbah kaca sebagai substitusi agregat halus baik digunakan hingga kurang dari 30% dari total campuran agregat halus No.8 dan mengalami perubahan karakteristik *Marshall* yaitu pada kemampuan campuran menahan beban yang semakin meningkat hingga batas optimum dan menurun setelahnya yaitu pada nilai stabilitas, kemudian nilai *flow*, *MQ*, *VITM*, *VMA* yang mengalami kenaikan hingga batas nilai optimumnya kemudian mengalami penurunan setelahnya, dan nilai *VFWA* dan *density* yang mengalami penurunan namun hingga nilai tertentu mengalami kenaikan setelahnya. Nilai *Cantabro* mengalami penurunan dan kenaikan yang tidak signifikan secara keseluruhan seiring dengan penambahan substitusi kaca kedalam campuran aspal porus. Hal ini menunjukkan bahwa campuran tersebut tahan terhadap campuran hingga mencapai nilai optimalnya dan akan kurang tahan terhadap benturan setelah melewati nilai optimumnya. Dan Nilai *AFD* (*Asphalt Flow Down*) mengalami penurunan yang signifikan seiring

dengan penambahan proporsi substitusi kaca kedalam campuran aspal porus. Hal ini menunjukkan bahwa campuran tersebut tercampur himogen.

### Saran

Merujuk pada hasil penelitian campuran aspal porus dengan menggunakan limbah kaca sebagai substitusi agregat halus No.8, maka disarankan agar penelitian lebih lanjut dapat menggunakan substitusi pada ukuran butiran yang lebih kecil sebagai agregat halus dengan harapan dapat meningkatkan stabilitas dan membutuhkan kadar aspal yang efektif dan menggunakan limbah lainnya sebagai substitusi agregat halus dengan harapan dapat meningkatkan stabilitas dan meningkatkan nilai guna limbah itu sendiri.

### DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad, A., (2012), “Pengaruh Penambahan Anti Stripping (*Wetfix-Be*) terhadap Karakteristik Aspal Porus dengan Menggunakan Bahan Pengikat Liquid Asbuton”, *Jurnal Tugas Akhir*, Universitas Hasanuddin, Makasar.
- Australian Asphalt Pavement Association, (2004), *National Asphalt Specification*, National Technology & Leadership Committee, Melbourne
- Djakfar L., Zaika Y., Bowoutro H., (2015), “Pengaruh Penambahan *Additive* Terhadap Kinerja *Marshall* pada Campuran Aspal Porus”, *The 18th FSTPT International Symposium*, Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- Jasim, A.A., (2014), “Using Waste Glass as Secondary Aggregates in Asphalt Mixtures”, *International Journal of Advanced Research*, Volume 2, Issue 1, 41-46, College of Engineering University of Babylon, Iraq.
- Putri Y.G., Ariyanti F., Djakfar L., Bowoputro H., (2013), “Evaluasi Kinerja Aspal Porus Menggunakan Spesifikasi Gradasi dari Australia (AAPA), California (CalAPA) dan British (BS)”, *Jurnal Civitas Akademik*, Universitas Brawijaya, Malang