

# Pengaruh Variasi Penambahan Agregat Buatan Terhadap Kadar Aspal Optimum untuk Perkerasan Aspal Lapis Aus

Lik Radevi Burhamsi Putri<sup>1</sup>, Hariyadi<sup>1</sup>, I Dewa Made Alit Karyawan<sup>1,2</sup> Ervina Ahyudanari<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Mataram, Mataram,

<sup>2</sup>Departemen Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

e-mail: ervina@ce.its.ac.id

**Abstrak**—Agregat yang digunakan pada konstruksi perkerasan umumnya menggunakan batu pecah yang didapatkan dari batu gunung maupun sungai yang dapat menyebabkan ketidakseimbangan alam. Oleh karena itu diperlukan agregat buatan yang dapat menggantikan fungsi agregat alami maupun dapat mengurangi penggunaan agregat alami secara signifikan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi penambahan agregat buatan terhadap kadar aspal optimum untuk perkerasan aspal lapis aus. Penelitian ini menggunakan agregat buatan geopolimer berbahan dasar *fly ash* yang digunakan ke dalam campuran dan dijadikan sebagai pengganti agregat kasar untuk perkerasan lapis aus untuk jalan raya. Variasi komposisi agregat buatan yang digunakan yaitu 0%, 25%, 50%, 75% dan 100%. Terdapat lima sampel untuk masing-masing variasi dengan menggunakan tiga kadar aspal yaitu 5%, 6% dan 7%. Hasil yang didapatkan pada penelitian menunjukkan bahwa kadar aspal optimum untuk variasi penambahan 0% agregat buatan dan 25% penambahan agregat buatan memiliki kadar aspal optimum, sementara untuk variasi penambahan agregat buatan 50%, 75% dan 100% agregat buatan, hasilnya tidak mencukupi syarat spesifikasi yang ada, sehingga tidak dapat ditarik kadar aspal optimum.

**Kata Kunci**— Agregat Buatan, *Fly Ash*, Kadar Aspal Optimum, *Marshall Test*, Perkerasan Aspal.

## I. PENDAHULUAN

Agregat merupakan salah satu material yang diperlukan dalam pembangunan, terutama pembangunan lapis permukaan beton aspal (*asphalt concrete*) yang mengandung 90-95% agregat berdasarkan presentase berat atau 75-85% agregat berdasarkan presentase volume[1]. Agregat dibagi menjadi empat macam berdasarkan cara mendapatkannya, yaitu agregat alami, agregat batu pecah, agregat buatan dan agregat yang di daur ulang[2]. Umumnya pada pembangunan lapis permukaan beton aspal menggunakan batu pecah sebagai agregatnya. Agregat batu pecah didapatkan dari batu yang digali dari batu gunung maupun sungai yang dihancurkan dan disaring sesuai dengan ukuran standard[2]. Hal tersebut dapat menyebabkan ketidakseimbangan alam. Oleh karena itu diperlukan agregat buatan yang dapat menggantikan fungsi agregat alami tersebut. Salah satu agregat buatan yang dapat digunakan adalah agregat buatan yang terbuat dari limbah pembakaran batu bara yaitu *fly ash*. Abdullah et al (2015) pada penelitiannya menggunakan agregat buatan berbahan dasar *fly ash* dengan geopolimer untuk dibandingkan sifat mekaniknya dengan agregat alami[3]. Penelitiannya membandingkan nilai berat jenis, nilai impact dan penyerapan air, yang diterapkan pada pembuatan beton. Sehingga dapat disimpulkan bahwa agregat buatan geopolimer ini dapat digunakan sebagai

alternatif untuk menjadi agregat pengganti agregat alami untuk beton dengan daur ulang limbah industri sebagai komponen utama.

Penelitian lain mengenai agregat buatan juga dilakukan di Departemen Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)[4]. Pada penelitian tersebut agregat buatan geopolimer dibuat berbahan dasar *fly ash* dengan menggunakan Spesifikasi Teknis Bina Marga Tahun 2010 Revisi 3[4]. Beberapa hasil yang diperoleh dari penelitian masih belum memenuhi spesifikasi, seperti halnya nilai penyerapan air dan kelekatan agregat buatan. Pada penelitian tersebut agregat buatan yang dihasilkan hanya satu macam ukuran agregat, sehingga penggunaan agregat alami masih banyak. Sementara untuk mengurangi penggunaan agregat alami, diperlukan ukuran agregat buatan yang berbeda-beda. Hal ini dikarenakan gradasi agregat mempengaruhi stabilitas campuran dari masing-masing agregat. Susunan butir agregat juga mempunyai pengaruh terhadap volume rongga yang terbentuk dalam campuran, serta mempengaruhi kemudahan dalam pengerjaan.

Telah dilakukan penelitian mengenai pasta geopolimer dengan komposisi campuran 75% *fly ash* berbanding 25% alkali aktifator[5]. Alkali aktifator yang digunakan adalah  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  dan  $\text{NaOH}$ . Dalam penelitian dibuat 3 variasi rasio antara  $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$  yaitu 1.5, 2 dan 2.5, dengan molaritas 8 mol. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kerapatan dari geopolimer dengan rasio alkali aktivator 1.5, 2, dan 2.5 adalah 2.35, 2.38 dan 2.30. Sementara kuat tekan rata-rata rasio alkali aktivator 1.5, 2, dan 2.5 adalah 48.09, 40.68, dan 30.45[5]. Sehingga dapat disimpulkan bahwa agregat buatan dapat dibuat dari geopolimer berbahan dasar *fly ash*. Agregat ini dapat digunakan sebagai pengganti agregat untuk campuran aspal beton[5].

Pada penelitian Yamsami, dilakukan penelitian mengenai pemanfaatan agregat sisa pecahan campuran beton K225 dan K300 sebagai pengganti agregat kasar pada perkerasan AC-WC. Pada kesimpulannya dapat disimpulkan bahwa pada penggunaan campuran beton K300 yang bersifat poros mengakibatkan penyerapan terhadap aspal menjadi lebih besar, sehingga membuat nilai kadar aspal optimum yang di dapatkan sebesar 6,65% lebih tinggi dibandingkan agregat kasar dari batu pecah alami sebesar 6,54%[6].

Sehingga berdasarkan penelitian sebelumnya, penelitian ini akan berbasis pada agregat buatan geopolimer berbahan dasar *fly ash* yang dijadikan sebagai pengganti agregat kasar untuk perkerasan lentur jalan raya, khususnya pada lapis perkerasan lapis aus (AC-WC) dan mencari kadar aspal optimum dari variasi penambahan agregat buatan yang akan digunakan untuk mengetahui pengaruh penambahan tersebut.

Untuk mengetahui kadar aspal optimum diperlukan pengujian karakteristik *Marshal*. Maksud penelitian ini adalah untuk mengetahui kadar aspal optimum dari campuran lapis aus terhadap penambahan agregat buatan berbahan dasar *fly ash*.

II. METODE PENELITIAN

Ada 4 tahapan yang dilakukan pada penelitian ini. Tahap pertama adalah persiapan. Pada tahap ini dilakukan penyediaan alat dan bahan yang akan digunakan. Agregat alami dan filler yang digunakan diambil dari bak penyimpanan di ITS. Aspal yang digunakan merupakan aspal pertamina 60/70 sementara untuk agregat buatan dibuat dengan alkali aktivator, campuran dari Natrium Silikat (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) dan Natrium hidroksida (NaOH), yang dicampur dengan Abu Terbang (*Fly ash*) kelas F menggunakan granulator. Proporsi perbandingan alkali aktivator dan *Fly ash* adalah 25: 75 dengan rasio alkali aktivator Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>/NaOH adalah 1:2,5. Setelah proses curing 28 hari, agregat buatan dapat digunakan.

Tahap kedua adalah studi literatur dan mengumpulkan data-data. Data yang dikumpulkan berupa data primer yaitu data karakteristik tiap bahan yang akan digunakan seperti karakteristik agregat alami maupun buatan, karakteristik aspal, dan filler, Data tersebut didapatkan dengan menggunakan pengujian material.

Tahapan ketiga adalah membuat benda uji. Untuk melakukan pembuatan benda uji, diperlukan proporsi gradasi campuran yang sesuai dengan spesifikasi. Pada penelitian ini digunakan gradasi campuran untuk perkerasan lapis aus dan berdasarkan batas tengah Spesifikasi Teknis 2010 Revisi 3 milik Bina Marga[7] yang ditunjukkan dengan tabel 1. Sehingga didapatkan presentase agregat kasar sebesar 57%, agregat halus 36,5% dan filler 6,5%.

Tabel 1. Presentase agregat campuran lapis aus[7]

No	Diameter Saringan		% Lolos	Batas Tengah	% Tertahan
	Inci	mm			
1	¾"	19	100	100	0
2	½"	12,5	90-100	95	5
3	3/8"	9,50	77-90	83,5	11,5
4	No. 4	4,75	53-69	61	22,5
5	No. 8	2,36	33-53	43	18
6	No. 16	1,18	21-40	30,5	12,5
7	No. 30	0,6	14-30	22	8,5
8	No. 50	0,3	9-22	15,5	6,5
9	No. 100	0,15	6-15	10,5	5
10	No. 200	0,075	4-9	6,5	4

Dilakukan pengecekan terhadap kadar aspal optimum (KAO) untuk setiap variasi. Untuk mencari KAO, dilakukan perhitungan perkiraan awal kadar aspal dengan rumus (1) kemudian dilakukan penambahan +1, maupun -1 untuk menentukan kadar aspal yang akan digunakan untuk mencari KAO dari variasi.

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

Dimana:

Pb : Kadar Aspal Perkiraan

CA : Agregat Kasar Tertahan saringan No.8

FA : Agregat Halus lolos saringan No 8 dan tertahan No.200

FF : Persen agregat minimal 75% lolos No.200

Konstanta untuk Asphalt Concrete dan HRS kira-kira 0,5-1,0

Dengan data yang ada maka dapat dihitung kadar aspal rencana

$$Pb = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%FF) + \text{Konstanta}$$

$$Pb = (0,035 \times 57) + (0,045 \times 36,5) + (0,18 \times 6,5) + 1$$

$$Pb = 5,8075 \text{ (dibulatkan menjadi 6)}$$

Sehingga kadar aspal yang digunakan untuk mencari KAO adalah 5%, 6% dan 7%.

Dalam penelitian ini dilakukan pergantian agregat kasar alami terhadap agregat buatan. Dilakukan 5 variasi pergantian yaitu 0% agregat buatan, 25%, 50%, 75% dan 100% agregat buatan dengan masing-masing 5 sampel, sehingga dibutuhkan 75 sampel untuk keseluruhan penelitian.

Untuk perhitungan berat kebutuhan variasi agregat, persentase yang digunakan diambil dengan menggunakan persentase agregat kasar dari agregat alami yang digantikan, dikarenakan hasil dari pembuatan agregat buatan dari granulator berupa agregat kasar atau agregat yang tertahan saringan No.4. Kebutuhan setiap jenis agregat, baik alami dan buatan untuk pengujian dapat dilihat pada Tabel 2 dengan kebutuhan berat sampel total, yaitu 1200 gr, dengan contoh perhitungan detail kebutuhan agregat untuk 25% agregat buatan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2.

Kebutuhan agregat untuk benda uji				
Variasi Agregat		Kebutuhan Agregat		
AA**	AB**	AA	AB	
(%)	(%)	(gr)		
100%	0%	1200	0	
75%	25%	1083	117	
50%	50%	966	234	
25%	75%	849	351	
0%	100%	468	732	

\*AA: Agregat Alami

\*\*AB: Agregat Buatan

Tabel 3

Contoh perhitungan kebutuhan agregat untuk benda uji 25% agregat buatan

No Ayakan	Batas Tengah	Persen tertahan (%)	Persen tertahan (%)				Berat (gr)	
			AB		AA		AB	AA
			25%	75%	25%	75%		
In	mm							
3/4	19	100	0	0	0	0	0	0
1/2	12,5	95	5	1,25	3,8	15	45	
3/8	9,5	83,5	11,5	2,875	8,6	34,5	103,5	
NO.4	4,75	61	22,5	5,625	16,9	67,5	202,5	
NO.8	2,36	43	18	-	18	-	216	
NO.16	1,18	30,5	12,5	-	12,5	-	150	
NO.30	0,6	22	8,5	-	8,5	-	102	
NO.50	0,3	15,5	6,5	-	6,5	-	78	
NO.100	0,15	10,5	5	-	5	-	60	
NO.200	0,075	6,5	4	-	4	-	48	
Pan			6,5	-	6,5	-	78	
Jumlah			100	9,8	90,3	117	1083	

Tahap terakhir pada penelitian ini adalah melakukan *Marshall Test* untuk mengetahui KAO masing-masing variasi penambahan agregat buatan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mendapatkan data primer dilakukan pengujian material. Karakteristik agregat alami pada penelitian ini dibagi menjadi 3 yaitu agregat kasar, halus dan filler. Sementara untuk agregat buatan, hanya sebagai agregat kasar,

karena output dari hasil pencampuran dengan granulator adalah maksimal tertahan saringan no 4, yang menunjukkan bahwa hasil tersebut merupakan agregat kasar, sesuai dengan Spesifikasi Teknis Bina Marga Tahun 2010 Revisi 3. Untuk agregat kasar dilakukan pengujian berat jenis, penyerapan air, kelekatan, kekekalan serta abrasi, sementara agregat halus dan filler dilakukan pengujian berat jenis dan penyerapan.

Untuk karakteristik aspal pertama penetrasi 60/70, dilakukan pengujian berat jenis, penetrasi, titik lembek dan daktilitas. Setiap hasil uji karakteristik, baik karakteristik aspal maupun filler, harus disesuaikan dengan persyaratan yang tertera pada Spesifikasi Teknis Bina Marga Tahun 2010 Revisi 3. Untuk hasil pengujian material, baik agregat halus, agregat kasar, filler dan aspal secara berturut-turut dapat dilihat pada tabel 4 hingga tabel 7.

Tabel 4.  
Hasil Pengujian Agregat Halus

No.	Jenis Pemeriksaan	Agregat Halus	Persyaratan
1.	Berat Jenis Bulk	2,607	
2.	Berat Jenis Semu	2,827	
3.	Penyerapan terhadap air	2,987 %	≤ 3,0 %

Tabel 5.  
Hasil Pengujian Filler

No.	Jenis Pemeriksaan	Filler	Persyaratan
1.	Berat Jenis Bulk	2,747	
2.	Berat Jenis Semu	2,747	

Tabel 6.  
Hasil Pengujian Agregat Kasar

No.	Jenis Pemeriksaan	Agregat Kasar (Alami)	Persyaratan
1.	Berat Jenis Bulk	2,542	
2.	Berat Jenis Semu	2,703	
3.	Penyerapan terhadap air	2,349	≤ 3,0
4.	Kelekatan Agregat terhadap Aspal	98	≥ 95
5.	Kekekalan Agregat	9,7%	≤ 12%
6.	Abrasi	30,8%	≤ 40%

No.	Jenis Pemeriksaan	Agregat Kasar (buatan)	Persyaratan
1.	Berat Jenis Bulk	1,853	
2.	Berat Jenis Semu	2,089	
3.	Penyerapan terhadap air	6,080 %	≤ 3,0 %
4.	Kelekatan Agregat terhadap Aspal	98	≥ 95
5.	Kekekalan Agregat	8,963%	≤ 12%
6.	Abrasi	22,78	≤ 40 %

Tabel 7.  
Hasil Pengujian Aspal Pertamina Penetrasi 60/70

No.	Jenis Pemeriksaan	Aspal Pertamina	Persyaratan
1.	Penetrasi	65	60-70
2.	Titik Lembek	53	≥ 48
3.	Daktilitas	150	≥ 100
4.	Berat Jenis	1,047	≥ 1

Nilai KAO ditentukan dengan menggunakan *Marshall Test*. Dengan melakukan *Marshall Test* akan didapatkan karakteristik *Marshall* yang berupa nilai *Void in Mixture* (VIM), *Void in Mineral Aggregate* (VMA), *Void Filled with Asphalt* (VFA), *Stabilitas*, *Flow*, dan *Marshall Quotient* (MQ).

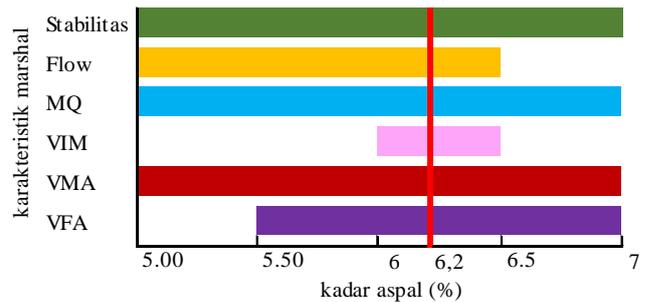
A. *Kadar Aspal Optimum 0% Agregat Buatan*

Pada pengujian *Marshall* untuk variasi penambahan 0% agregat buatan ataupun 100% agregat batu pecah, didapatkan

hasil yang dapat dilihat pada tabel 8 dengan grafik di gambar 1. Pada perhitungan dan grafik, didapatkan kadar aspal optimum 6,2%.

Tabel 8  
Kadar Aspal Optimum 0% Agregat Buatan

Karakteristik	Satuan	Spek	Kadar Aspal		
			5%	6%	7%
Stabilitas	Kg	800	1278.834	1581.640	1661.699
Flow	Mm	2 ≤ x ≤ 4	3.680	3.900	4.080
MQ	Kg/mm	≥ 250	348.198	435.455	409.366
VIM	%	3 ≤ x ≤ 5	7.804	4.912	0.573
VMA	%	≥ 15	18.694	18.199	16.556
VFA	%	≥ 65	58.315	73.072	96.576



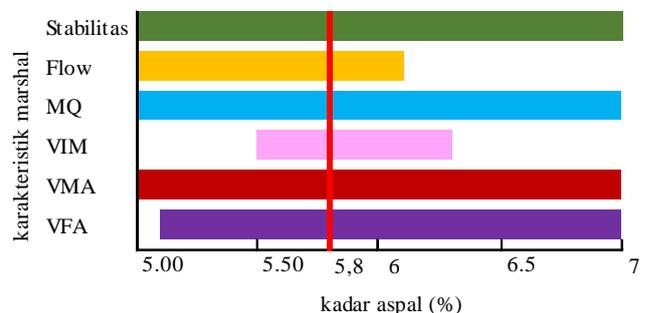
Gambar 1. Grafik Kadar Aspal Optimum 0% Agregat Buatan

B. *Kadar Aspal Optimum 25% Agregat Buatan*

Pada pengujian *Marshall* untuk variasi penambahan 25% agregat buatan dengan 75% agregat batu pecah, didapatkan hasil yang dapat dilihat pada tabel 9 dengan grafik kadar aspal optimum, yang ditunjukkan pada gambar 2. Pada perhitungan didapatkan kadar aspal optimum untuk 25% agregat buatan sebesar 5,8%.

Tabel 9  
Kadar Aspal Optimum 25% Agregat Buatan

Karakteristik	Satuan	Spek	Kadar Aspal		
			5%	6%	7%
Stabilitas	Kg	800	1547.647	1536.209	1625.914
Flow	Mm	2 ≤ x ≤ 4	2.620	3.780	5.540
MQ	Kg/mm	≥ 250	603.287	416.107	320.710
VIM	%	3 ≤ x ≤ 5	6.914	3.612	2.315
VMA	%	≥ 15	17.600	16.712	17.598
VFA	%	≥ 65	60.930	78.449	86.856



Gambar 2. Grafik Kadar Aspal Optimum 25% Agregat Buatan

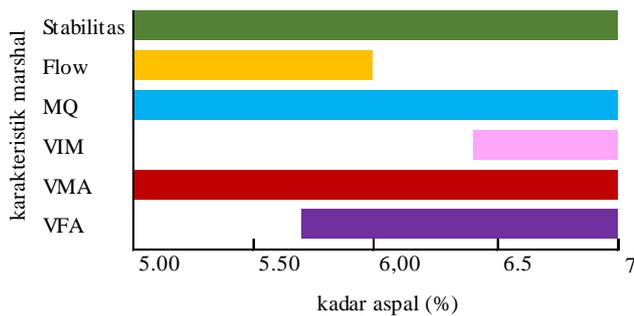
C. *Kadar Aspal Optimum 50% Agregat Buatan*

Pada pengujian *Marshall* untuk variasi penambahan 50% agregat buatan dengan 50% agregat pecah didapatkan hasil yang terdapat pada tabel 10 dengan grafik kadar aspal optimum pada gambar 3. Pada gambar 3, dapat dilihat bahwa pada penambahan 50% agregat buatan, tidak dapat ditarik garis kadar aspal optimum dikarenakan beberapa nilai

seperti *Flow* dan *VIM* tidak memenuhi persyaratan yang ada. Jika mengambil kadar aspal antara 6,5% hingga 7%, maka nilai *Flow* tidak akan memenuhi syarat, begitupula jika mengambil kadar aspal diantara 6% hingga 6,5% maka nilai *VIM* dan *Flow* tidak memenuhi syarat spesifikasi Teknis Bina Marga 2010 Revisi 3.

Tabel 10  
Kadar Aspal Optimum 50% Agregat Buatan

Karakteristik	Satuan	Spek	Kadar Aspal		
			5%	6%	7%
Stabilitas	Kg	800	1295.750	1022.973	1519.900
<i>Flow</i>	Mm	$2 \leq x \leq 4$	3.92	3.980	5.540
MQ	Kg/mm	$\geq 250$	347.763	266.932	320.710
VIM	%	$3 \leq x \leq 5$	7.947	5.868	2.315
VMA	%	$\geq 15$	18.227	18.320	18.399
VFA	%	$\geq 65$	56.461	68.051	79.771



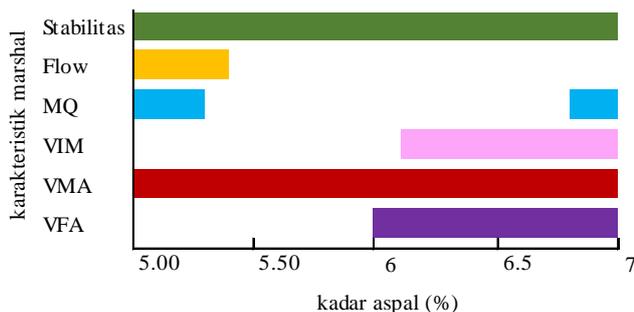
Gambar 3. Grafik Kadar Aspal Optimum 50% Agregat Buatan

D. Kadar Aspal Optimum 75% Agregat Buatan

Pengujian *Marshall* untuk variasi penambahan 75% agregat buatan dengan 25% agregat pecah, memiliki hasil seperti yang tertera pada tabel 11 dengan gambar grafik kadar aspal optimum pada gambar 4. Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa nilai *Flow*, dan MQ yang tidak sesuai spesifikasi, sehingga tidak dapat ditarik Kadar Aspal Optimumnya. Nilai MQ yang semakin kecil, menunjukkan bahwa semakin lentur campuran tersebut[8]. Sementara nilai *Flow* yang semakin kecil menunjukkan deformasi atau penurunan yang terjadi pada campuran tersebut[9].

Tabel 11  
Kadar Aspal Optimum 75% Agregat Buatan

Karakteristik	Satuan	Spek	Kadar Aspal		
			5%	6%	7%
Stabilitas	Kg	800	1064.381	944.927	1435.276
<i>Flow</i>	Mm	$2 \leq x \leq 4$	3.88	4.32	5.32
MQ	Kg/mm	$\geq 250$	279.304	225.541	270.117
VIM	%	$3 \leq x \leq 5$	9.603	6.620	4.114
VMA	%	$\geq 15$	19.430	18.652	18.354
VFA	%	$\geq 65$	50.602	64.639	77.627



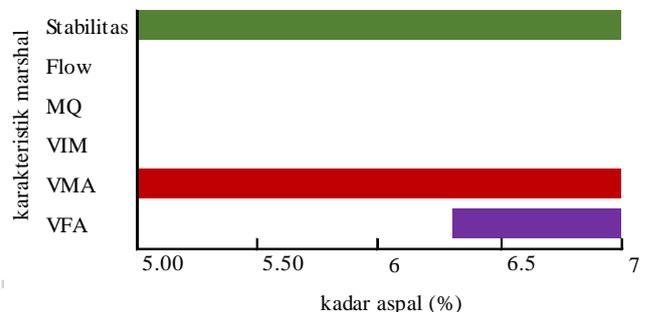
Gambar 4. Grafik Kadar Aspal Optimum 75% Agregat Buatan

E. Kadar Aspal Optimum 100% Agregat Buatan

Pengujian *Marshall* untuk variasi penambahan 100% agregat buatan atau 0% agregat pecah, memiliki hasil seperti dapat dilihat pada tabel 12 dengan gambar grafik yang dapat dilihat pada gambar 5. Dapat dilihat dari grafik bahwa baik nilai *Flow*, MQ, dan *VIM* tidak masuk dalam spesifikasi teknis bina marga 2010 revisi 3. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan 100% agregat buatan membuat campuran mengalami deformasi, semakin lentur, dan semakin berongga. *VIM* yang semakin rendah juga dipengaruhi oleh berat jenis bulk maupun berat jenis semu[10]. Dibandingkan dengan seluruh perhitungan *Marshall*, nilai *VMA* pada penambahan agregat buatan 100% lebih tinggi daripada yang lain. *VMA* merupakan rongga diantara mineral agregat terhadap volume total campuran[11]. Sehingga hal tersebut menunjukkan bahwa nilai rongga diantara mineral agregat pada penambahan 100% agregat buatan lebih besar dibanding penambahan agregat yang lain. Semakin besar nilai rongga diantara agregat maka semakin besar pula nilai rongga udara dalam campuran[12]. Sehingga hal tersebut menunjukkan bahwa terdapat banyak rongga udara dalam campuran tersebut.

Tabel 12  
Kadar Aspal Optimum 100% Agregat Buatan

Karakteristik	Satuan	Spek	Kadar Aspal		
			5%	6%	7%
Stabilitas	Kg	800	1007.881	1147.29	1019.672
<i>Flow</i>	Mm	$2 \leq x \leq 4$	4.24	4.9	5.86
MQ	Kg/mm	$\geq 250$	248.358	233.6695	176.220
VIM	%	$3 \leq x \leq 5$	10.083	7.678	5
VMA	%	$\geq 15$	19.604	19.273	18.760
VFA	%	$\geq 65$	48.594	60.203	73.406



Gambar 5. Grafik Kadar Aspal Optimum 100% Agregat Buatan

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis *Marshall Test* dengan Spesifikasi Teknis Bina Marga 2010 Revisi, untuk kelima variasi penambahan agregat buatan, dapat disimpulkan bahwa hanya kadar aspal optimum untuk variasi penambahan 0% agregat buatan atau 100% agregat pecah dan 25% penambahan agregat buatan yang memiliki kadar aspal optimum yaitu 6,2% dan 5,8%. Untuk variasi penambahan agregat buatan 50%, 75% dan 100% agregat buatan, baik nilai *Flow*, MQ maupun *VIM* tidak mencukupi syarat spesifikasi yang ada, sehingga tidak dapat ditarik kadar aspal optimum. Hal tersebut terjadi karena semakin banyaknya agregat buatan yang ditambahkan, maka semakin berongga campuran tersebut, sehingga nilai-nilai karakteristik *Marshall* yang ada semakin kecil dan tidak sesuai dengan spesifikasi. Saran yang dapat diberikan untuk pengaplikasian maupun pengembangan penelitian ini adalah, menggunakan variasi penambahan lain maupun gradasi lain agar dapat

mendapatkan hasil yang sesuai dengan spesifikasi. Selain itu, baik rasio penggunaan alkali aktivator maupun rasio untuk penggunaan *fly ash* juga dapat dicari agar mendapatkan hasil yang dapat diterapkan pada proses perkerasan di masa mendatang.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh dana Penelitian EPI UNET tahun 2017

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Silvia, *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung: Nova Publisher, 1999.
- [2] Aalto University School Engineering, "CIV-E1010 Building Materials Technology (5 cr)." Finland.
- [3] A. Abdullah, K. A. R. Ku Yin, M. M. Al Bakri Abdullah, K. Hussin, and M. Van Tran, "Comparison of Mechanical Properties of Fly Ash Artificial Geopolymer Aggregates with Natural Aggregate," *Appl. Mech. Mater.*, vol. 754–755, pp. 290–295, Apr. 2015.
- [4] S. Sudrajat, "Penilaian agregat buatan berbahan dasar fly ash untuk bahan perkerasan jalan di berbagai variasi suhu perawatan," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2016.
- [5] I. D. M. A. Karyawan, E. Ahyudanari, and J. J. Ekaputri, "Potential use of fly ash base-geopolymer as aggregate substitution in asphalt concrete mixtures," *Int. J. Eng. Technol.*, vol. 5, no. 5, pp. 3744–3752, 2017.
- [6] Y. Yamsasmi, A. Syafaruddin, and H. Azwansyah, "Pemanfaatan sisa pecahan campuran beton sebagai pengganti agregat kasar pada laston wearing course gradasi kasar," *J. Mhs. Tek. Sipil Univ. Tanjungpura*, vol. 4, no. 4, Nov. 2017.
- [7] Departemen Pekerjaan Umum, *Spesifikasi Teknis Bina Marga Tahun 2010 Revisi 3*. Badan Penelitian dan Pengembangan PU.
- [8] M. Misbah, "Pengaruh variasi kadar agregat kasar terhadap nilai karakteristik campuran panas aspal agregat (AC-WC) dengan pengujian marshal," *J. Momentum*, vol. 14, no. 1, pp. 56–62, Jun. 2013.
- [9] H. Kusharto, "Pengaruh agregat terhadap perilaku campuran beton aspal," *J. Tek. Sipil dan Perenc.*, vol. 9, no. 1, pp. 55–63, Oct. 2007.
- [10] F. Rondonuwu, O. H. Kaseke, A. L. E. Rumajar, and M. R. E. Manoppo, "Pengaruh sifat fisik agregat terhadap rongga dalam campuran beraspal panas," *J. Sipil Statik*, vol. 1, no. 3, pp. 184–189, Feb. 2013.
- [11] Badan Penelitian dan Pengembangan PU, *RSNI M-01-2003, Metode pengujian campuran beraspal panas dengan alat marshal*. Badan Penelitian dan Pengembangan PU, 2003.
- [12] I. B. Muhammad, "Analisa karakteristik marshall pada campuran asphalt concrete-binder course (AC-BC) menggunakan limbah beton sebagai coarse agregat," Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2016.