

Contents list available at journal.uib.ac.id**Journal of Civil Engineering and Planning**Journal homepage: <https://journal.uib.ac.id/index.php/jce>

Jurnal Penelitian

Limbah Industri Sebagai *Filler* dan Agregat Pamekasan Pada Campuran *Asphalt Concrete - Wearing Course* Ditinjau Dari Karakteristik *Marshall*

Industrial Waste As Filler And Pamekasan Aggregate In The Mixture Asphalt Concrete - Wearing Course In Terms Of Marshall Characteristics

Aldi Setiawan¹, Fairus Zabadi², Ragil Arman Maulana³^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas MaduraEmail korespondensi: aldi.setiawan@unira.ac.id

INFO ARTIKEL	ABSTRAK
Batumarmar, Fly Ash, Pamekasan, Marshall.	Pemanfaatan <i>asphalt hot mix</i> di Pamekasan mengalami peningkatan yang didasari pertambahan jaringan jalan yang dibangun maupun untuk pemeliharaan. Penggunaan aspal panas yang sering digunakan yaitu AC-WC (<i>Asphalt Concrete - wearing Course</i>) yang merupakan lapis aspal panas struktur lapisan aus pada konstruksi perkerasan jalan. Selama ini untuk produksi aspal panas, material campuran aspal panas didapatkan dari luar wilayah Madura yang berdampak terhadap biaya produksi yang mahal. Berdasarkan permasalahan tersebut, dibutuhkan inovasi pada material penyusun campuran aspal panas untuk efisiensi biaya produksi mengingat dari kuantitas material Pamekasan jumlahnya banyak. Selain itu, inovasi yang bisa dilakukan yaitu menggunakan batu pecah Pamekasan sebagai agregat pada campuran aspal panas serta penggunaan limbah serbuk batu kapur Batumarmar dan <i>fly ash</i> sebagai <i>filler</i> pada campuran aspal panas. Penggunaan material lokal pamekasan dan limbah diharapkan dapat menekan biaya produksi. Untuk tujuan tersebut maka dibuat sebanyak 45 buah sampel dengan presentase berbeda dan menggunakan metode marshall test untuk mendapatkan nilai kepadatan (<i>Density</i>), <i>Flow</i> , <i>VMA</i> , <i>VIM</i> , <i>VFA</i> , dan stabilitas. Berdasarkan hasil uji didapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO) pada campuran dengan penggunaan <i>filler</i> 4% variasi aspal 6% dengan nilai <i>Density</i> 2.287, Stabilitas 917 kg, <i>Flow</i> 3.467 mm, <i>Marshall Quotient</i> 250,09 kg/mm, <i>VIM</i> 3,67 %, <i>VMA</i> 15,18 %, <i>VFB</i> 77,68 % dan penggunaan <i>filler</i> variasi aspal 6,1% dengan nilai <i>Density</i> 2.280, Stabilitas 1,127 kg, <i>Flow</i> 4,50 mm, <i>Marshall Quotient</i> 250,45 kg/mm, <i>VIM</i> 3,66 %, <i>VMA</i> 15,16 %, <i>VFB</i> 76,70 % serta penggunaan <i>filler</i> 10% variasi aspal 6,2% dengan nilai <i>Density</i> 2.285, Stabilitas 1.061 kg, <i>Flow</i> 4,00 mm, <i>Marshall Quotient</i> 365,28 kg/mm, <i>VIM</i> 3,31 %, <i>VMA</i> 15,64 %, <i>VFB</i> 78,84%.

Contents list available at journal.uib.ac.id**Journal of Civil Engineering and Planning**Journal homepage: <https://journal.uib.ac.id/index.php/jce>**ARTICLE INFO****Keywords:**

Batumarmar,
Fly Ash,
Pamekasan,
Marshall.

ABSTRACT

Utilization of hot mix asphalt in Pamekasan has increased due to the expansion of road networks for construction and maintenance purposes. The commonly used hot asphalt is AC-WC (Asphalt Concrete - Wearing Course), which serves as the hot asphalt layer for the pavement construction. Historically, the production of hot asphalt mix in Pamekasan involved obtaining materials from outside the Madura region, leading to high production costs. In response to this issue, there is a need for innovation in the composition of hot asphalt mix materials to enhance cost efficiency, especially considering the abundant quantity of materials available in Pamekasan. An innovative approach includes using crushed stone from Pamekasan as an aggregate in hot asphalt mix and incorporating waste materials such as Batumarmar limestone powder and fly ash as fillers. The utilization of local materials from Pamekasan and waste is expected to reduce production costs. For this purpose, 45 samples were created with different percentages, and the Marshall test method was employed to determine values such as density, flow, VMA (voids in mineral aggregate), VIM (voids in mineral aggregate filled with asphalt), VFA (voids filled with asphalt), and stability. Based on the test results, the Optimum Asphalt Content (OAC) was found in a mixture with 4% filler variation and 6% asphalt, yielding a density of 2.287, stability of 917 kg, flow of 3.467 mm, Marshall Quotient of 250.09 kg/mm, VIM of 3.67%, VMA of 15.18%, and VFB (voids filled with bitumen) of 77.68%. Another optimum mixture was identified with a 6.1% asphalt and 10% filler variation, resulting in a density of 2.280, stability of 1,127 kg, flow of 4.50 mm, Marshall Quotient of 250.45 kg/mm, VIM of 3.66%, VMA of 15.16%, and VFB of 76.70%. Additionally, a 6.2% asphalt and 10% filler variation produced a density of 2.285, stability of 1,061 kg, flow of 4.00 mm, Marshall Quotient of 365.28 kg/mm, VIM of 3.31%, VMA of 15.64%, and VFB of 78.84%.

1. Pendahuluan

Infrastruktur transportasi darat yang terus mengalami peningkatan berdasarkan laju pertumbuhan di Indonesia yang menyebabkan meningkatnya volume kendaraan. Umur rencana dan kelancaran lalu lintas pada jalan dipengaruhi oleh kualitas dari perkerasan jalan tersebut. Kualitas perkerasan akan menjadi baik jika dilakukan perancangan dilakukan dengan sebaik mungkin sehingga semua komponen utama dalam campuran perkerasan bekerja dengan baik, oleh karena itu penentuan desain campuran aspal yang akan digunakan sangat penting untuk memastikan kualitas campuran yang baik serta efektif dan dapat menyelesaikan permasalahan kerusakan jalan [1].

Salah satu jenis aspal panas yang sering digunakan yaitu AC-WC (*Asphalt Concrete - wearing Course*) yang berfungsi sebagai lapisan aus permukaan pada sebuah konstruksi perkerasan jalan dan memberikan kenyamanan dalam berkendara serta menerima beban kendaraan secara langsung [2].

Aspal panas jenis AC-WC yang didesain sebagai lapis permukaan perkerasan dibutuhkan pengujian pendahuluan untuk mengetahui nilai karakteristik terhadap campuran aspal panas. Penggunaan Parameter *marshall test* untuk mengetahui karakteristik suatu campuran beraspal. Untuk mendapatkan hasil campuran AC-WC yang sesuai dengan susunan gradasi maka digunakan *filler* atau bahan pengisi, yaitu seperti penggunaan semen atau debu abu batu pada campuran aspal panas. Semua material tersebut adalah material yang tidak dapat diperbarui, untuk itu perlu inovasi-inovasi lebih lanjut untuk mencari material alternatif pengganti *filler* [3].

Inovasi yang dapat dilakukan saat ini yaitu memanfaatkan limbah industri serbuk batu kapur Batumarmar dan *fly ash* sebagai *filler* atau bahan pengisi pengganti semen pada campuran aspal panas. Dengan skala besar, pemanfaatan limbah tersebut menjadi produk ramah lingkungan yang memenuhi syarat seperti memanfaatkannya sebagai bahan pengisi (*filler*) pada campuran aspal panas. Dengan pemanfaatan tersebut dapat mengatasi masalah keterbatasan tempat penumpukan atau penampungan dan pencemaran lingkungan. Selama ini serbuk batu kapur Batumarmar dan *fly ash* merupakan limbah yang tidak dimanfaatkan sehingga menjadi sampah dan dapat merusak lingkungan. Penelitian sebelumnya [4] terkait pemanfaatan limbah serbuk batu kapur yang digunakan sebagai bahan tambah pada sebagian agregat halus terhadap campuran aspal panas AC-WC dan mendapatkan hasil peningkatan nilai stabilitas, kelelahan plastis dan rongga dalam campuran. Penggunaan batu kapur variasi dengan pecahan keramik juga dilakukan pada pembuatan paving blok dengan hasil pengujian mengalami peningkatan pada variasi 20% [5]. Sedangkan penelitian lainnya [6], menambahkan *fly ash* sebagai *filler* dan mendapatkan hasil pada kadar aspal optimum memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 revisi 3. Penggunaan *fly ash* juga pernah dilakukan [7] sebagai pengganti semen pada campuran beton dan berdasarkan penelitian tersebut menghasilkan bahwa penambahan *fly ash* dapat mempengaruhi nilai kuat tekan beton. Limbah *fly ash* juga digunakan untuk membantu kestabilan tanah lumpur atau lempung [8].

Selain penggunaan limbah, penggunaan agregat lokal untuk campuran *Asphalt Concrete - wearing Course* merupakan salah satu bentuk inovasi penggunaan material lokal. Selama ini, untuk campuran *Asphalt Concrete - wearing Course* yang ada di Pamekasan menggunakan agregat jawa, sehingga dapat mengganti agregat jawa dengan aggregate pamekasan. Hasil pengujian penggunaan material lokal dapat memenuhi syarat sesuai spesifikasi umum Bina Marga 2018 Revisi 2 tentang pengujian abrasi sebesar 21,97% [9]. Penggunaan material lokal juga dilakukan pada pembuatan campuran mortar dengan menggunakan abu batu sebagai pengganti pasir [10].

Berdasarkan penjelasan diatas dibutuhkan penelitian terkait pemanfaatan limbah serbuk batu kapur Batumarmar dan *fly ash* dengan tujuan dapat menggantikan fungsi semen sebagai *filler* sehingga berdampak pada nilai ekonomis material penyusunnya. Selain itu, dengan pemanfaatan limbah tersebut berdampak pada kebersihan lingkungan karena dapat mengurangi limbah yang selama ini hanya menjadi sampah di lingkungan sekitar. Dengan penelitian ini diharapkan juga dapat meningkatkan ekonomi masyarakat setempat dengan pemanfaatan limbah dan agregat pamekasan sebagai bahan yang mempunyai nilai ekonomis. Penelitian ini menggunakan metode *marshall test* untuk mengetahui nilai karakteristik marshall.

2. Metode

Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan desain campuran aspal panas dengan bahan agregat Waru Kabupaten Pamekasan dan serbuk batu kapur dari Batumarmar serta *fly ash*. Detail kegiatan penelitian yang dilakukan yaitu

1. Bahan penelitian agregat lokal yang berasal dari Kec. Waru Kabupaten Pamekasan. Bahan dasar aspal campuran aspal panas yaitu aspal penetrasi 60/70 Pertamina. Sedangkan untuk *filler* yang digunakan yaitu limbah serbuk batu kapur dan *fly ash*.

2. Pengujian propertis material penyusun yang menjadi bahan campuran aspal merujuk pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 revisi 2[11] :
 - SNI 03-2417-2008 tentang uji keausan agregat.
 - SNI 03-1969-2008 dan SNI 03-1970-2008 untuk uji penyerapan agregat serta Berat jenis (Gs) .
 - SNI 03-1968-1990 tentang uji Analisa saringan.
 - uji berat jenis dan penyerapan agregat
3. Uji analisa saringan (Gradasi) untuk *filler* dengan saringan no. 200 (0,075 mm). *filler* yang lolos saringan no. 200 dan *filler* tidak kering serta tidak menggumpal dengan nilai kadar air maksimum 1% maka dapat digunakan.
4. Uji aspal penetrasi 60/70 meliputi pengujian penetrasi aspal, daktilitas, titik nyala dan titik bakar, titik lembek aspal dan ter.
5. Pada tahap membuat sampel (benda uji) campuran AC-WC dibuat sebanyak 3 benda uji masing – masing jenis variasi dengan variasi kadar aspal yang berbeda serta variasi *filler* 2%, 4%, 6%, 8% dan 10% dengan masing-masing variasi *filler* terdiri dari 50% serbuk batu kapur dan 50% *fly ash* dari persentase berat total kebutuhan *filler* masing-masing campuran dengan jumlah sampel (benda uji) sebanyak 45 buah.
6. Metode perhitungan *Eliminasi Gauss* digunakan dalam menentukan campuran dalam penelitian ini. Komposisi campuran berdasar pada gradasi campuran yang telah ditetapkan berdasarkan spesifikasi Teknis Bina Marga 2018 revisi 2.
7. Untuk mendapatkan nilai KAO serta mendapatkan nilai karakteristik campuran yang sudah dibuat maka dilakukan pengujian *marshall*.
8. Analisa dilakukan terhadap sifat-sifat *marshally* yaitu *Density*, (*VMA*) *Void in Mineral Agregat*, (*VIM*) *Void in the Mix*, *Void Filled With Asphalt (VFA)*, *Stability* (stabilitas), *Flow* dan *Marshall Quotien (MQ)* dengan tujuan mendapatkan (KAO) atau kadar aspal optimum di dalam campuran (*ACWC*)

3.1 Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengujian Aggegat

Hasil pengujian Agregat kasar dan Agregat halus terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil pengujian Agregat kasar

No	Jenis	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
1	Jji Keausan (Abrasi) 500 Putaran	26,85%	Maks. 40%	Terpenuhi
2	Analisa saringan (10 mm – 15 mm)	0 %	Lolos Saringan 200 Maks. 1%	Terpenuhi
3	Analisa saringan (5 mm – 10 mm)	0 %	Lolos Saringan 200 Maks. 1%	Terpenuhi
4	Analisa saringan (0 – 05 mm)	8,07 %	Lolos Saringan 200 Mak 10%	Terpenuhi
5	Gumpalan Lempung	0,595%	Mak 1%	Terpenuhi

Sumber : Data Primer

Pada material agregat kasar dan agregat halus yaitu pada agregat dengan ukuran 00 mm -05 mm, 05 mm -10 mm dan 10 mm -15 mm juga dilakukan pengujian berat jenis yang terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2 Pengujian Berat Jenis Agregat

No	Jenis Pengujian	Ukuran Agregat			Spesifikasi	Keterangan
		10 - 15 (mm)	05-10 (mm)	00-05 (mm)		
1	Berat Jenis (<i>oven dry</i>)	2,51	2,51	2,55		Memenuhi
2	Bera Jenis Kering Permukaan Jemu	2,56	2,54	2,59		Memenuhi
3	Berat jenis Semu (<i>apparent specific gravity</i>)	2,56	2,58	2,66		Memenuhi
4	Penyerapan (<i>absorsi</i>)	1.82	1,12	1,577	Mak 3	Memenuhi

Sumber : Data Primer

Berdasarkan Tabel 2 maka dapat disimpulkan pengujian berat jenis agregat dapat digunakan sesuai dengan persyaratan yang terdapat pada pada spesifikasi Teknis Umum Bina Marga 2018 Revisi 2. Ketidaksamaan berat jenis agregat kasar serta agregat halus tidak melebihi 0,2 sesuai berdasarkan persyaratan Spesifikasi Teknis Umum Bina Marga 2018 Revisi 2.

3.2 Hasil Uji Batu Kapur dan *Fly Ash*

Penggunaan atau pemanfaatan serbuk batu kapur Lesong Daja dan *fly ash* sebagai *filler* dilakukan beberapa uji sesuai pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu uji gradasi dan berat jenis. Untuk hasil gradasi dan berat jenis selengkapnya terdapat pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil Uji Bahan Pengisi (*Filler*)

No	Jenis	Hasil	Persyaratan	Kesimpulan
1	Analisa saringan	75,20%	Minimal 75%	Memenuhi
2	Berat jenis	2,7%		Memenuhi

Sumber : Data Primer

3.3 Hasil Uji Aspal

Aspal minyak yang digunakan dalam pengujian merupakan aspal minyak penetrasi 60/70. Berdasarkan hasil dari uji karakteristik aspal pen. 60/70 terdapat Tabel 4.

Tabel 4 Hasil Uji Karakteristik Aspal

No	Jenis	Method	Hasil Uji Lab	Syarat
1	Penetrasi 25°C	SNI 06 - 2456 - 1991	65,17	Min. 50
2	Titik Lembek (<i>Softening Point</i>)	SNI 06 - 2434 - 2011	49,35	> 48°
3	Titik Nyala (<i>Flash Point</i>)	SNI 06 - 2433 - 2011	319,5	Min. 232° C
4	Daktilitas 25°C 5 cm	SNI 06 - 2432 - 2011	>150	Min. 100 Cm
5	Berat Jenis	SNI 06 - 2442 - 2011	1.0332	Min. 1.0 gm/cm ³

No	Jenis	Method	Hasil Uji Lab	Syarat
Kelarutan Aspal				
6	Dalam (<i>Thriclor Etylen</i>)	AASHTO T 44 - 03	99.528	> 99%
7	Kehilangan Berat (<i>Thin Film</i>)	SNI 03 - 2440 - 1991	0,0431	Max. 0.8 %
8	Penetrasi Setelah <i>TFOT</i>	SNI 03 -2456 - 1991	95,40	> 54% Asli
9	Daktilitas Setelah <i>TFOT</i>	SNI 03 - 2432 - 2011	>150	> 50 cm
10	Viscositas Kinematis 135°C (<i>Cst</i>)	SNI 06 - 6721 - 2002	489,853	> 300 Cst

Sumber : Data Primer

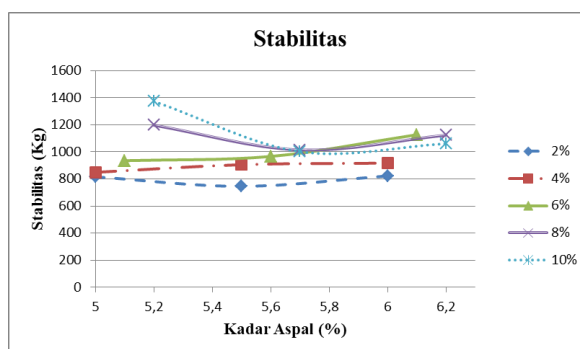
3.4 Pembahasan Hasil Pengujian Benda Uji (*Sample*)

Hasil uji campuran aspal terhadap nilai karakteristik *marshall* terdapat pada Tabel 5, Gambar 1 sampai dengan Gambar 6.

Tabel 5 Nilai Karakteristik *Marshall*

Filler	Aspal	Density	Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	VIM (%)	VMA (%)	VFB (%)	MQ (Kg/mm)
	5%	2,209	816	3,33	7,95	17,14	53,63	244,70
2%	5,5%	2,296	746	3,00	3,66	14,33	74,49	248,70
	6%	2,294	822	4,33	3,07	14,86	79,34	189,77
	5%	2,267	849	4,17	5,57	15,04	62,95	203,84
4%	5,5%	2,263	906	4,00	5,07	15,63	67,55	226,46
	6%	2,287	917	3,67	3,39	15,18	77,68	250,09
	5,1%	2,278	935	3,17	5,05	14,82	65,94	295,39
6%	5,6%	2,294	967	4,50	3,70	14,67	74,76	214,78
	6,1%	2,280	1127	4,50	3,65	15,66	76,70	250,45
	5,2%	2,316	1197	3,83	3,39	13,59	75,05	312,34
8%	5,7%	2,299	1014	5,00	3,43	14,68	76,61	202,90
	6,2%	2,337	1124	4,33	1,14	13,71	91,72	259,37
	5,2%	2,340	1373	4,00	2,46	12,80	80,78	343,29
10%	5,7%	2,355	1002	3,83	1,14	12,70	91,00	261,38
	6,2%	2,285	1061	4,00	3,40	15,73	78,39	265,28
Spesifikasi			> 800	> 3	3 ~ 5	> 15	> 65	> 250

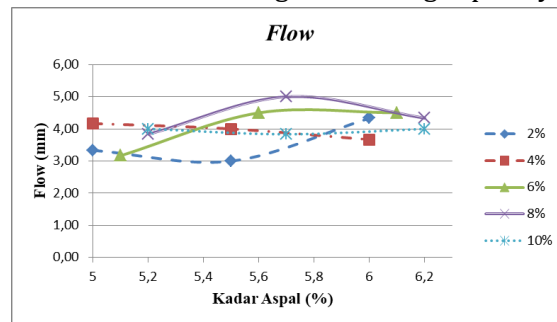
Sumber : Data Primer



Gambar 1. Kurva Stabilitas

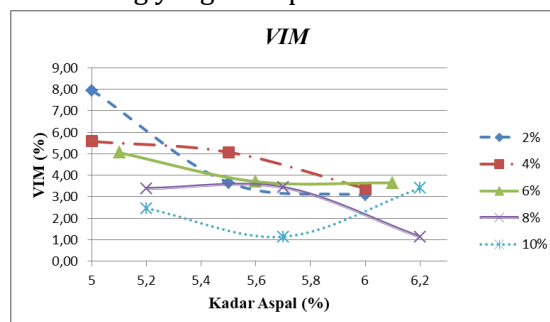
Sumber: Data Primer

Dari hasil uji *marshall* di dapat nilai stabilitas masing-masing untuk *filler* 2% variasi aspal 5,0%, 5,5% dan 6,0% sebesar 816 kg, 746 kg dan 822 (Tabel 4), penggunaan *filler* 4% variasi aspal 5,0%, 5,5% dan 6,0% didapat nilai 849 kg, 906 kg dan 917 kg terlihat pada Tabel 5 , penggunaan *filler* 6% dengan penggunaan aspal sebesar 5,1%, 5,6% dan 6,1% mendapatkan hasil sebesar 935 kg, 967 kg dan 1127 kg terlihat pada (Tabel 5), sedangkan penggunaan *filler* 8% dengan aspal 5,2%, 5,7 dan 6,2% di dapatkan hasil 1197 kg, 1014 kg dan 1124 kg dan 6,2% di dapatkan hasil 1197 kg, 1014 kg dan 1124 kg (Tabel 5), penggunaan *filler* 10% variasi aspal 5,2%, 5,7% dan 6,2% mendapat hasil sebesar 1373 kg, 1002 kg serta 1061 kg (Tabel 5). Dari hasil pengujian tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa nilai stabilitas untuk penggunaan *filler* sebesar 4%, *filler* 6%, *filler* 8% dan *filler* 10% mendapatkan hasil uji sesuai persyaratan minimal nilai stabilitas (*Stability*) 800 kg, sedangkan untuk penggunaan *filler* 2% pada penggunaan aspal 5,5% nilai stabilitas kurang dari 800 kg seperti yang terlihat pada Gambar 1.



Gambar 2 Kurva *Flow*
Sumber: *Data Primer*

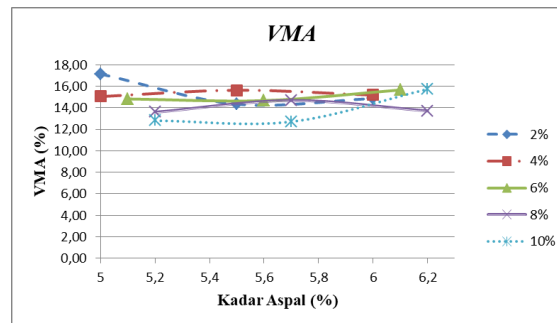
Berdasarkan hasil uji *marshall* di dapat nilai *flow* (kelelehan) untuk *filler* 2% variasi aspal 5,0%, 5,5% dan 6,0% sebesar 3,33 kg, 3,00 kg dan 4,33 (Tabel 5), penggunaan *filler* 4% variasi aspal 5,0%, 5,5% dan 6,0% didapat nilai 4,17 kg, 4,00 kg dan 3,67 kg terlihat pada (Tabel 6) , penggunaan *filler* 6% dengan penggunaan aspal sebesar 5,1%, 5,6% dan 6,1% mendapatkan hasil sebesar 3,17 kg, 4,50 kg dan 4,50 kg terlihat pada Tabel 5, sedangkan penggunaan *filler* 8% dengan aspal 5,2%, 5,7 dan 6,2% di dapatkan hasil 3,83 kg, 5,00 kg dan 4,33 kg (Tabel 5), penggunaan *filler* 10% variasi aspal 5,2%, 5,7 dan 6,2% mendapat hasil sebesar 4,00 kg, 3,83 kg serta 4,00 kg (Tabel 5). Dari hasil uji tersebut, dapat disimpulkan terhadap nilai *flow* penggunaan *filler* 2%, *filler* 4%, *filler* 6% dan *filler* 8% dan *filler* 10% dapat memenuhi persyaratan nilai *flow* 3 kg yang terdapat Gambar 2.



Gambar 3. Kurva *VIM*
Sumber: *Data Primer*

Setelah dilakukan uji *marshall* di dapat nilai *VIM* masing-masing untuk *filler* 2% variasi aspal 5,0%, 5,5% dan 6,0% sebesar 7,95%, 3,66% dan 3,07%, penggunaan *filler* 4% variasi aspal 5,0%, 5,5% dan 6,0% didapat nilai 5,57%, 5,07% dan 3,39% terlihat pada (Tabel 5), penggunaan *filler* 6% dengan penggunaan aspal sebesar 5,1%, 5,6% dan 6,1% mendapatkan hasil sebesar 5,05%, 3,70% dan 3,65% terlihat pada (Tabel 5), sedangkan penggunaan *filler* 8% dengan aspal 5,2%, 5,7 dan 6,2% di dapatkan

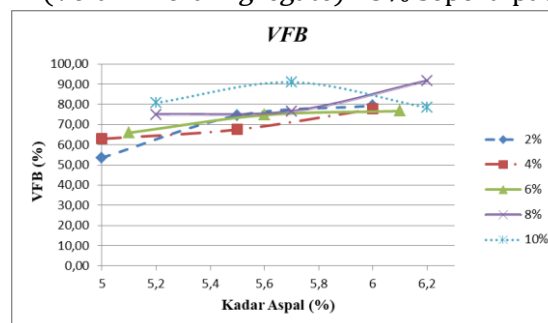
hasil 3,39%, 3,43% dan 1,14% (Tabel 5), penggunaan *filler* 10% variasi aspal 5,2%, 5,7 dan 6,2% mendapat hasil sebesar 2,37%, 1,05% serta 3,31% kg (Tabel 5). Dari hasil pengujian tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa nilai *VIM* (*Void in Mix*) yang memenuhi persyaratan terdapat pada penggunaan *filler* 2%, 4%, 6% dan 8% dengan penggunaan aspal 5,2% dan 5,7% serta pada *filler* 10% dengan penggunaan aspal 6,2% seperti pada Gambar 3.



Gambar 4. Kurva VMA

Sumber: Data Primer

Untuk hasil pengujian marshall di dapat nilai *VMA* (*Void Mineral Agregate*) masing-masing untuk *filler* 2% variasi aspal 5,0%, 5,5% dan 6,0% sebesar 17,14%, 14,33% dan 14,86% (Tabel 5), penggunaan *filler* 4% variasi aspal 5,0%, 5,5% dan 6,0% didapat nilai 15,04%, 15,63% dan 15,18% terlihat pada (Tabel 5), penggunaan *filler* 6% dengan penggunaan aspal sebesar 5,1%, 5,6% dan 6,1% mendapatkan hasil sebesar 14,82%, 14,67% dan 15,66% terlihat pada (Tabel 5), sedangkan penggunaan *filler* 8% dengan aspal 5,2%, 5,7% dan 6,2% di dapatkan hasil 13,59%, 14,68% dan 13,71% (Tabel 5), penggunaan *filler* 10% variasi aspal 5,2%, 5,7% dan 6,2% mendapat hasil sebesar 12,71%, 12,61% serta 15,64% (Tabel 5). Dari hasil uji, maka diambil kesimpulan nilai *VMA* (*Void Mineral Agregate*) untuk penggunaan *filler* 2% dengan variasi aspal 5%, *filler* 4%, serta penggunaan *filler* 6% dengan variasi aspal 6,1%, penggunaan *filler* 10% dengan variasi aspal 6,2% dapat memenuhi persyaratan minimal nilai *VMA* (*Void Mineral Agregate*) 15% seperti pada Gambar 4.

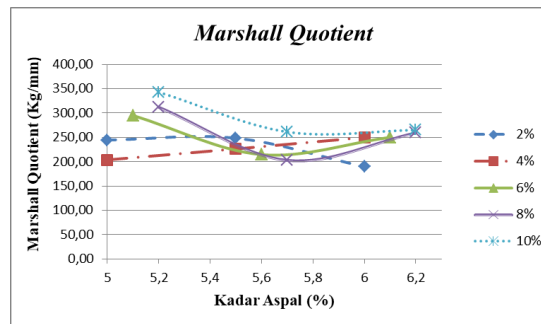


Gambar 5 Kurva VFB

Sumber: Data Primer

Setelah dilakukan pengujian marshall di dapat nilai *VFB* /Rongga Udara Terisi Aspal masing-masing untuk *filler* 2% variasi aspal 5,0%, 5,5% dan 6,0% sebesar 53,63%, 74,49% dan 79,34%, penggunaan *filler* 4% variasi aspal 5,0%, 5,5% dan 6,0% didapat nilai 62,95%, 67,55% dan 77,68%, penggunaan *filler* 6% dengan penggunaan aspal sebesar 5,1%, 5,6% dan 6,1% mendapatkan hasil sebesar 65,94%, 74,76% dan 76,70% terlihat pada (Tabel 5), sedangkan penggunaan *filler* 8% dengan aspal 5,2%, 5,7% dan 6,2% di dapatkan hasil 75,05%, 76,61% dan 91,72%, penggunaan *filler* 10% variasi aspal 5,2%, 5,7% dan 6,2% mendapat hasil sebesar 81,36%, 91,66% serta 78,84% kg (Tabel 5). Dari hasil uji tersebut, maka disimpulkan nilai *VFB* /Rongga Udara Terisi Aspal yang memenuhi

persyaratan terdapat pada penggunaan *filler* 2% dengan variasi aspal 5,5% dan 6,0%, penggunaan *filler* 4% dengan variasi aspal 5,5%, 6,0% serta pada penggunaan *filler* 6% , 8%, dan 10% seperti pada Gambar 5.



Gambar 6 Kurva *Marshall Quotient*

Sumber: Data Primer

Hasil pengujian marshall didapat nilai *Marshall Quotient* masing-masing untuk *filler* 2% variasi aspal 5,0%, 5,5% dan 6,0% sebesar 244,70 kg/mm, 248,70 kg/mm dan 189,77 kg/mm, penggunaan *filler* 4% variasi aspal 5,0%, 5,5% dan 6,0% didapat nilai 203,84 kg/mm, 226,46 kg/mm dan 250,09 kg/mm , penggunaan *filler* 6% dengan penggunaan aspal sebesar 5,1%, 5,6% dan 6,1% mendapatkan hasil sebesar 295,39 kg/mm, 214,78 kg/mm dan 250,45 kg/mm terlihat pada (Tabel 5) sedangkan penggunaan *filler* 8% dengan aspal 5,2%, 5,7% dan 6,2% di dapatkan hasil 312,34 kg/mm, 202,90 kg/mm dan 259,37 kg/mm (Tabel 5), penggunaan *filler* 10% variasi aspal 5,2%, 5,7% dan 6,2% mendapat hasil sebesar 343,29 kg/mm, 261,38 kg/mm serta 265,28 kg/mm (Tabel 5). Dari hasil pengujian tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa nilai *Marshall Quotient* untuk penggunaan *filler* 4% dengan variasi aspal 6,0%, dan *filler* 6% dengan variasi aspal 5,1% dan 6,1%, dan penggunaan *filler* 8% dengan variasi aspal 5,2% dan 6,2% serta *filler* 10% dapat memenuhi persyaratan minimal nilai *Marshall Quotient* 250 kg/mm seperti yang terlihat pada Gambar 6.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Kadar Aspal Optimum (KAO) pada penelitian penggunaan serbuk batu kapur dan *fly ash* sebagai campuran pada *filler* dengan penggunaan agregat lokal dari Desa Karang - Waru terdapat pada campuran dengan penggunaan *filler* 4% variasi aspal minyak 6% dengan nilai kepadatan (*Density*) 2.287, Stabilitas 917 kg, *Flow* 3.467 mm, *Marshall Quotient* 250,09 kg/mm, *VIM* 3,67 %, *VMA* 15,18 %, *VFB* 77,68 % dan penggunaan *filler* variasi aspal minyak 6,1% dengan nilai *Density* 2.280, Stabilitas 1,127 kg, *Flow* 4,50 mm, *Marshall Quotient* 250,45 kg/mm, *VIM* 3,66 %, *VMA* 15,16 %, *VFB* 76,70 % serta penggunaan *filler* 10% variasi aspal minyak 6,2% dengan nilai *Density* 2.285, Stabilitas 1.061 kg, *Flow* 4,00 mm, *Marshall Quotient* 365,28 kg/mm, *VIM* 3,31 %, *VMA* 15,64 %, *VFB* 78,84%.

4.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian disarankan :

1. Penelitian lanjutan pada penggunaan aspal menggunakan aspal modifikasi.
2. Penelitian lebih lanjut dengan penggunaan *filler* perbandingan dan agregat yang berbeda dengan pertimbangan hasil yang lebih baik serta perbandingan nilai ekonomis.
3. Penelitian lanjutan tentang efisiensi waktu serta pengkajian tentang perbandingan nilai ekonomis.

5. Daftar Rujukan

- [1] S.J. Akbar , Wesli, L.A. Widari and K. Munawir, "Penggunaan Abu Bata Karang Sebagai filler dan Pasir Besi Sebagai Agregat Halus Terhadap Parameter Marshall pada Campuran Aspal AC-BC," Teras Jurnal, 2019.
- [2] Raffles and U.H. Umar, " Stability Analysis of Laston AC-WC Using K-250 Quality Waste Concrete as Coarse Aggregate," Journal of Civil Engineering and Planning (JCEP) [Online], Volume 4 Number 1, 30 June 2023.
- [3] E. Rabihati, Rasiwan and R. Riyanti, "Karakteristik Laston AC-WC Menggunakan Variasi Kadar Filler Limbah Balon Gas," Vokasi: Jurnal Publikasi Ilmiah, 2018.
- [4] M.D.I. Budianto and Lubis Z, "Alternatif Penggunaan Agregat Halus Batu Kapur Mantup Dalam Campuran Aspal Panas AC-WC," U Karst, 2020.
- [5] A. Setiawan, M. Saifuddin, and R. A. Maulana, "Pemanfaatan Limbah Pecahan Keramik Dan Kapur Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen Pada Produksi Paving Blok Ditinjau Dari Nilai Kuat Tekan Dan Penyerapan Air", Ge-STRAM J. Perenc. dan Rekayasa Sipil., vol. 6, no. 1, pp. 54-59, Mar. 2023
- [6] A.U.A Qurny, I.H. Puspito and N. Tinumbia, "Pengaruh Penambahan Bahan Pengisi (Filler) Fly Ash Terhadap Campuran Aspal Beton Lapis Aus (Asphalt Concrete Wearing Course/AC-WC)," Jurnal Artesis, 2020.
- [7] M.Setiawati , "Fly Ash Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton," In Seminar Nasioanal Sains dan Teknologi Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta 2018, 2018, pp. 1-8.
- [8] M. Yusar and Indrastuti, "Effect of Use Fly Ash on Soil Stability in Batam Meisterstadt Project," Journal of Civil Engineering and Planning (JCEP), [S.l.], v. 3, n. 2, p. 161-168, dec. 2022.
- [9] T. J. Irwanto, A. Setiawan, and M. H. Mukti, "The Utilisation of Waste Bamboo Shells as A Filler in The ACWC Mixture on Marshall Characteristics", IJMABER, vol. 3, no. 4, pp. 693-702, Apr. 2022.
- [10] D. Asmaroni, M. Saifuddin, and A. Setiawan, "Perbandingan Penggunaan Abu Batu Madura Dan Abu Batu Jawa Pada Campuran Mortar", Ge-STRAM J. Perenc. dan Rekayasa Sipil., vol. 5, no. 1, pp. 1-5, Jun. 2022.
- [11] D.J.B. Marga, Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan. Jakarta : Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2020.