

Analisis Penggunaan Limbah Ban Sepeda Motor Dan Serbuk Kaca Pada Campuran Aspal

David Lindung Kurniawan Sitompul¹, Budi Doloksaribu^{1*}, Chitra Utary¹

¹Teknik Sipil, Universitas Musamus
Merauke, Indonesia

*Correspondent author: budi@unmus.ac.id

Abstrak – Penggunaan limbah dalam modifikasi tipe perkerasan lentur sudah sering digunakan. Bahan tambah yang digunakan pada modifikasi campuran aspal antara lain limbah ban sepeda motor bekas dan serbuk kaca dari hasil daur ulang kaca bekas pakai. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil *marshall* yang didapat dengan menggunakan bahan tambah ban sepeda motor bekas dan serbuk kaca. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental untuk mengetahui hasil pengujian nilai karakteristik *marshall*. Yang menggunakan metode eliminasi bahan tambah terhadap batu pecah dengan persentase bahan sebesar 2%, 4%, 6%, dan 8% pada ban bekas dan juga *filler* berupa serbuk kaca dengan menggantinya sesuai persentase *filler* sebesar 7%. Hasil penelitian pada kadar bahan tambah 2% dan *Filler* abu kaca 7% nilai stabilitas sebesar 1.118,10 kg dan *marshall quotient MQ* 261,84 kg/mm, kadar bahan tambah 4% dan *Filler* abu kaca 7% nilai stabilitas sebesar 1.290,87 kg dan *marshall quotient (MQ)* 325,96 kg/mm, kadar bahan tambah 6% dan *Filler* abu kaca 7% stabilitas sebesar 1.107,89 kg dan *marshall quotient (MQ)* 327,13 kg/mm dan, kadar bahan tambah 8% dan *Filler* abu kaca 7% nilai stabilitas 963,51 kg, dan *marshall quotient (MQ)* 414,89 kg/mm.

Kata kunci: *Marshall*, perkerasan, limbah ban bekas

Abstract – *The use of waste in modifying flexible pavement types is often used. Additional materials used in modifying the asphalt mixture include used motorbike tire waste and glass powder from recycling used glass. This research aims to determine the marshall results obtained by using additives from used motorbike tires and glass powder. This research uses experimental methods to determine the results of testing Marshall characteristic values. Which uses the method of eliminating added materials for broken stones with material percentages of 2%, 4%, 6% and 8% in used tires and also filler in the form of glass powder by replacing it according to the filler percentage of 7%. The results obtained at the added material content of 2% and 7% glass ash filler, the stability value was 1,118.10 kg and the marshall quotient MQ was 261.84 kg/mm, the added material content was 4% and the glass ash filler 7% stability value was 1,290.87 kg and marshall quotient (MQ) 325.96 kg/mm, added material content 6% and glass ash filler 7% stability of 1,107.89 kg and marshall quotient (MQ) 327.13 kg/mm and, added material content 8% and 7% glass ash filler, stability value 963.51 kg, and marshall quotient (MQ) 414.89 kg/mm.*

Keywords: *Marshall, pavement, used tire waste*

1. PENDAHULUAN

Perkerasan jalan adalah sarana merupakan sarana penunjang transportasi [1]. pembangunan jalan dilakukan oleh pemerintah untuk menunjang mobilitas masyarakat [2]. Penggunaan bahan alternatif pada campuran aspal banyak dilakukan untuk menunjang daya tahan dan umur layanan aspal [3]. Dalam mengetahui kemampuan aspal

dan sifat – sifat aspal pengujian laboratorium menggunakan metode *marshall* sampai saat ini masih digunakan [4]. metode *marshall* digunakan untuk mengetahui nilai – nilai parameter stabilitas dan kelelahan (*flow*), serta analisa kepadatan dan pori pada campuran untuk melihat karakteristik campuran [5].

Aspal merupakan bagian terpenting dalam lapisan perkerasan [6]. Ada beberapa usaha yang dapat dilakukan untuk meningkatkan sifat-sifat fisik aspal sebagai bahan pengikat untuk menghasilkan suatu bahan campuran jalan yang lebih kuat [7], salah satu cara mencegah terjadinya kerusakan dini pada perkerasan jalan akibat beban muatan dan pengaruh air adalah dengan meningkatkan mutu aspal sebagai bahan pengikat dari agregat. Cara yang sering digunakan untuk menaikkan mutu aspal adalah dengan menambah bahan aditif [8], salah satunya seperti karet ban bekas dan juga serbuk kaca atau dikenal dengan aspal modifikasi [9].

Limbah ban sepeda motor yang terbuang dan tidak terpakai dapat digunakan sebagai bahan modifikasi dalam campuran aspal. Untuk pengolahan limbah ban bekas belum ada yang tepat untuk mendaur ulang ban – ban bekas dan ban bekas tersebut hanya menjadi limbah padat yang tak terurai. Karet ban sendiri terdiri dari bahan karet yang bersifat fleksibel dan juga jika terkena panas karet memiliki sifat isolator [10], tidak mudah hancur dan kedap terhadap air. Pemanfaatan ini dimaksudkan untuk mengurangi keberadaan Limbah ban bekas tersebut sehingga tidak akan menyebabkan dampak yang negatif namun dapat memberikan dampak yang positif bagi masyarakat dan lingkungan [11]. Serbuk kaca sebagai bahan pengganti *Filler*, serbuk kaca didapatkan dari hasil pengolahan limbah kaca yang sudah tidak terpakai lagi. Kaca sendiri memiliki sifat – sifat khas dibandingkan golongan organik lainnya sifat kaca dipengaruhi oleh silika. Oleh karena itu, penulis tertarik untuk melakukan penelitian penggunaan limbah ban sepeda motor dan serbuk kaca pada campuran aspal [12].

Untuk mengetahui karakteristik campuran, menentukan ketahanan atau stabilitas terhadap kelelahan plastis (*flow*) dari campuran aspal, maka dilakukan pengujian dengan berdasarkan alat *Marshall* [13]. Pengujian ini berdasarkan 3 buah benda uji untuk setiap kadar aspal yang digunakan. Parameter Pengujian *Marshall* adalah Stabilitas, *Flow*, *Void in Mixture* (VIM), *Void in Mineral Aggregate* (VMA), *Void Filled with Bitumen* (VFB), *Marshall Quotient* (MQ) [14 -15].

Penelitian perkerasan jalan pada lapisan Asphalt Concrete - Wearing Course (AC – WC) sudah banyak dilakukan penelitian tentang lapisan tersebut dengan campuran Karet. Akan tetapi penelitian ini dilakukan dengan menghitung pengaruh penambahan limbah Karet ban bekas dengan *Filler* Serbuk Kaca.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan limbah karet ban sepeda motor pada campuran lapis aspal beton AC - WC dengan *Filler* Serbuk Kaca.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Persiapan alat dan bahan

Kegiatan pengujian sifat bahan dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik dari setiap bahan uji, apakah bahan tersebut mempunyai karakteristik yang memenuhi spesifikasi untuk digunakan. Melakukan persiapan bahan (material) yang akan diteliti di laboratorium Teknik Sipil Musamus merupakan hal awal yang harus dilakukan dalam pelaksanaan penelitian.

2.2 Pengujian bahan

a. Pengujian agregat

- Analisa Saringan berdasarkan SNI ASTM C136 : 2012.
- Pemeriksaan Berat Jenis (*Bulk*) berdasarkan SNI 03-1969-2008 dan penyerapan Agregat berdasarkan SNI 03-1969-2008.

2.3 Metode perencanaan campuran

Penambahan karet ban bekas dalam rancangan benda uji dilakukan dengan menimbang sesuai kebutuhan variasi karet ban sepeda motor yang telah di tentukan yaitu 2%, 4%, 6% dan 8% dari berat total aspal, kemudian di campur menggunakan cara basah (*wet process*) dimana karet ban sepeda motor ditambahkan kedalam campuran agregat dan dicampur hingga homogen, langkah selanjutnya ketika karet ban sepeda motor dan campurnya aspal telah melebur bersamaan kemudian dilanjutkan dengan penyempurnaan fraksi kasar / agregat.

2.4 Teknik analisis data

Tahap-tahap analisis data pada penelitian ini yaitu:

- Pengujian menggunakan alat *Marshall*
- Menghitung parameter *Marshall* yakni: VIM, VMA, VFA, berat volume dan parameter lainnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil pengujian karakteristik material

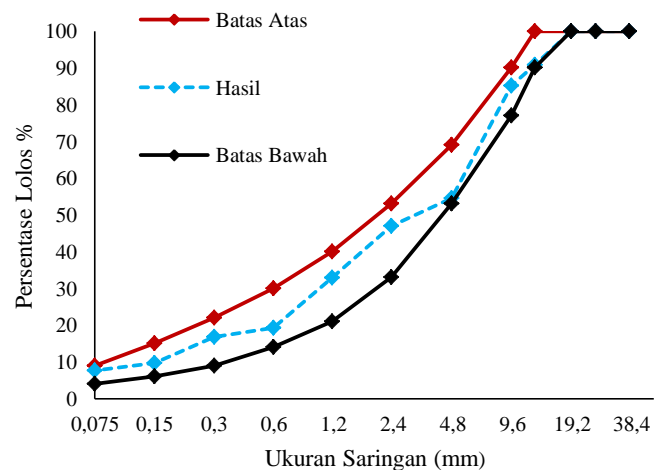
a. Hasil pengujian agregat

Hasil pengujian agregat kasar maupun pengujian agregat halus yang telah dilakukan memenuhi standar SNI yang dipersyaratkan. Pengujian ini meliputi pengujian berat jenis, penyerapan agregat kasar dan halus, dan juga berat jenis agregat kasar dan halus, dan analisa saringan. Hasil pengujian dapat dilihat pada

tabel 1 dan pengujian Analisa saringan dapat dilihat pada gambar 2 Grafik Kombinasi Agregat.

Tabel 1. Hasil pemeriksaan agregat

Item Pengujian	Hasil	Syarat	Satuan	Keterangan
Agregat Kasar 1- 2				
Berat jenis bulk	2,54	Min 2,5	Gram	Memenuhi
Berat jenis ssd	2,56	Min 2,5	Gram	Memenuhi
Berat jenis apparent	2,61	Min 2,5	Gram	Memenuhi
Penyerapan air	0,75	Maks 3	%	Memenuhi
Agregat Kasar 0,5				
Berat jenis bulk	2,60	Min 2,5	Gram	Memenuhi
Berat jenis ssd	2,64	Min 2,5	Gram	Memenuhi
Berat jenis apparent	2,76	Min 2,5	Gram	Memenuhi
Penyerapan air	1,56	Maks 3	%	Memenuhi
Agregat Halus Pasir				
Berat jenis bulk	2,51	Min 2,5	Gram	Memenuhi
Berat jenis ssd	2,57	Min 2,5	Gram	Memenuhi
Berat jenis apparent	2,67	Min 2,5	Gram	Memenuhi
Penyerapan air	2,35	Maks 3	%	Memenuhi



Gambar 1. Grafik kombinasi agregat

3.2 Proporsi campuran

Dalam penelitian ini digunakan campuran jenis Laston (AC-WC). Sebelum melakukan perhitungan proporsi campuran, hal yang harus dilakukan adalah menganalisa gradasi saringan untuk masing-masing agregat. Hal tersebut bertujuan untuk menentukan pembagian butiran agregat yang akan dipakai dalam campuran. Perhitungan proporsi campuran agregat kasar, halus, dan filler menggunakan cara coba-coba (*trial and error*) dengan melihat batasan-batasan berdasarkan spesifikasi yang telah ditentukan.

Tabel 2. Proporsi campuran

Komposisi campuran	Berat timbangan (BT)				
	5	5,5	6	6,5	7
Kadar aspal rencana (%)	5	5,5	6	6,5	7
Batu pecah 1/2	424,1	426,4	428,6	430,9	433,20
Batu pecah 0,5	178,6	179,5	180,5	181,4	182,40
Pasir	435,2	437,6	439,9	442,3	444,60
Filler Serbuk Kaca	78,1	78,5	79,0	79,4	79,80
Berat aspal (gr)	84,00	78,00	72,00	66,00	60,00
Berat total campuran (gr)	1200	1200	1200	1200	1200

3.3 Hasil pengujian *marshall*

Peninjauan karakteristik *Marshall* meliputi VIM (*void in mix*), VFA (*void fillet with asphalt*), stabilitas, kelelahan plastis (*flow*), *Marshall Quotient* (MQ). Hasil rekapitulasi pengujian ditunjukkan pada Tabel 3 sampai Tabel 7.

Tabel 3. Rekapitulasi hasil uji *marshall* campuran AC – WC standar (normal)

Sifat	Syarat	Kadar aspal (%)				
		5	5,5	6	6,5	7
<i>Marshall</i>						
Stabilitas	Min 800	1.819,46	1.627,97	1.605,04	1.582,1	1.490,39
<i>Flow</i>	2 - 5	4,91	4,77	4,42	3,77	3,57
VIM	3 - 5	66,40	69,30	73,34	77,73	80,09
VFA	Min 65	14,54	15,49	16,23	16,71	17,57
VMA	Min 15	3,07	3,33	3,50	3,53	3,70
<i>Marshall quotient</i>	Min 250	592,68	489,14	458,87	447,72	405,14

Tabel 4. Rekapitulasi hasil uji *marshall* dengan kadar variasi 2 % karet ban dan *filler* abu kaca 7 %

Sifat	Syarat	Kadar Aspal (%)				
		5	5,5	6	6,5	7
<i>Marshall</i>						
Stabilitas	Min 800	1.677,29	1.340,05	1.280,92	1.185,25	1.050,96
<i>Flow</i>	2 - 5	3,13	3,30	3,67	4,23	4,33
VIM	3 - 5	7,10	6,60	6,33	5,74	5,28
VFA	Min 65	57,95	62,34	66,97	70,11	77,66
VMA	Min 15	16,88	17,53	18,37	18,93	19,59
<i>Marshall Quotient</i>	Min 250	536,86	405,93	355,81	280,56	243,12

Tabel 5. Rekapitulasi hasil uji *marshall* dengan kadar variasi 4 % karet ban dan *filler* abu kaca 7 %

Sifat	Syarat	Kadar Aspal (%)				
		5	5,5	6	6,5	7
<i>Marshall</i>						
Stabilitas	Min 800	1.396,4	1.306,8	1.296,7	1.285,1	1.184,5
<i>Flow</i>	2 - 5	3,83	3,87	3,92	4,00	4,17
VIM	3 - 5	6,43	6,12	5,19	5,17	4,26
VFA	Min 65	60,57	66,18	70,13	72,94	77,40
VMA	Min 15	16,28	17,11	17,38	18,44	18,73

<i>Marshall Quotient</i>	Min 250	365,84	338,02	332,63	319,30	290,89
--------------------------	---------	--------	--------	--------	--------	--------

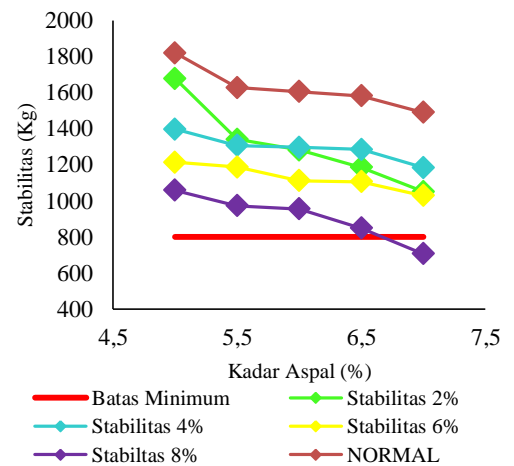
Tabel 6. Rekapitulasi hasil uji *marshall* dengan kadar variasi 6 % karet ban dan *filler* abu kaca 7 %

Sifat	Syarat	Kadar Aspal (%)				
		5	5,5	6	6,5	7
<i>Marshall</i>						
Stabilitas	Min 800	1.213,8	1.186,4	1.110,7	1.105,1	1.029,0
<i>Flow</i>	2 - 5	2,17	2,83	3,25	4,03	4,27
VIM	3 - 5	8,14	7,73	7,57	6,91	6,06
VFA	Min 65	54,37	58,31	63,29	66,01	70,19
VMA	Min 15	17,81	18,53	19,45	19,93	20,26
<i>Marshall Quotient</i>	Min 250	602,64	423,95	378,81	275,45	245,28

Tabel 7. Rekapitulasi hasil uji *marshall* dengan kadar variasi 8 % karet ban dan *filler* abu kaca 7 %

Sifat	Syarat	Kadar Aspal (%)				
		5	5,5	6	6,5	7
<i>Marshall</i>						
Stabilitas	Min 800	1.057,9	972,9	954,2	848,4	705,8
<i>Flow</i>	2 - 5	1,33	2,67	3,17	4,00	4,17
VIM	3 - 5	8,05	7,99	7,80	7,87	6,39
VFA	Min 65	56,74	57,78	60,51	65,44	69,15
VMA	Min 15	17,73	18,76	19,65	20,76	20,54
<i>Marshall Quotient</i>	Min 250	834,48	512,54	317,23	221,01	217,06

a. Stabilitas

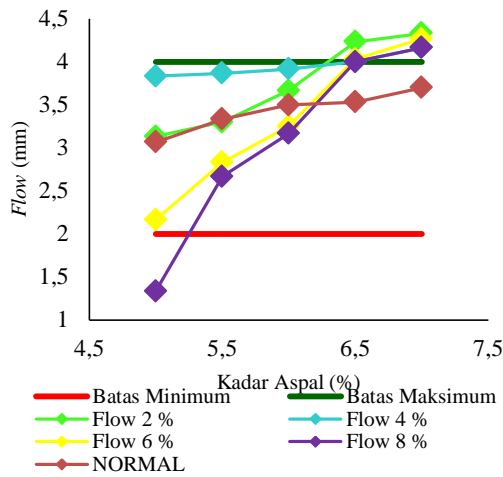


Gambar 2. Grafik hubungan antara kadar aspal dan stabilitas

Dari grafik hubungan antara kadar aspal dan stabilitas dapat dilihat bahwa stabilitas memenuhi persyaratan (Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018) yaitu minimal 800 kg. Dari hasil yang didapat mengalami penurunan stabilitas pada penggunaan beton aspal variasi dimana semakin tinggi kadar aspal dan kadar bahan variasi maka semakin menurun nilai stabilitas yang didapat. Nilai stabilitas tertinggi pada campuran normal sebesar 1.819,46 kg, sedangkan untuk variasi 2% sebesar 1.677,29 kg, variasi 4% sebesar 1.396,4 kg, variasi 6%

sebesar 1.213,8 kg, dan variasi 8% sebesar 1.057,85 kg. Hal ini menunjukkan menurunnya daya ikat aspal dan agregat yang diharapkan dapat mengurangi kerusakan jalan seperti pelepasan butiran, pengelupasan akibat genangan air, dan kelembapan.

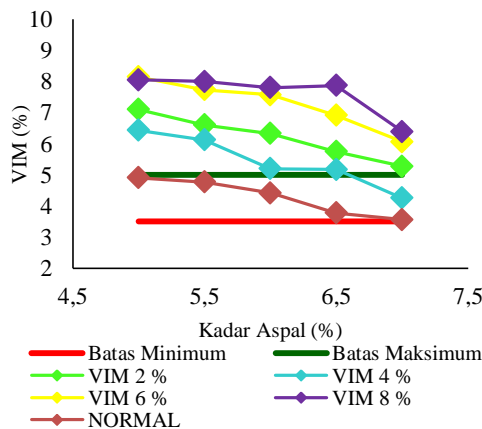
b. *Flow* (Kelelahan)



Gambar 3. Grafik hubungan antara kadar aspal dan *flow*

Dari grafik hubungan antara kadar aspal dan *flow* dapat dilihat bahwa suatu campuran aspal yang memiliki nilai *flow* yang rendah akan lebih kaku dan cenderung untuk mengalami retak, sedangkan nilai *flow* yang tinggi mengindikasikan campuran bersifat plastis. Pada variasi 2% dan 4% didapat nilai *flow* yang lebih tinggi dengan dari normal. Dari hasil tersebut memenuhi persyaratan (Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018) yaitu pada rentang 2 -5 mm.

c. *Void in Total Mix* (VIM)

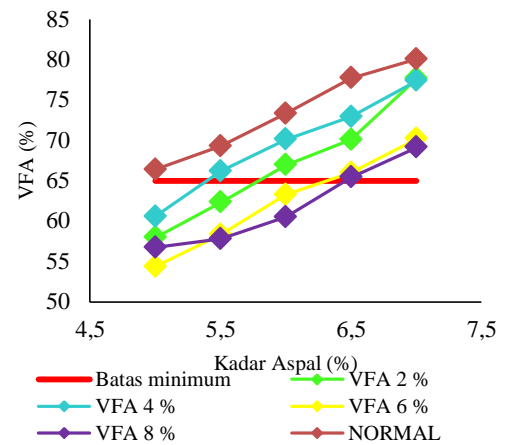


Gambar 5. Grafik hubungan antara kadar aspal dan VIM

Nilai VIM yang semakin kecil menandakan rongga dalam campuran semakin mengecil. Nilai VIM yang terlalu tinggi akan mengakibatkan lapis mengalami oksidasi atau penuaan aspal dengan masuknya udara sehingga

selimut aspal menjadi tipis dan kohesi aspal menjadi berkurang, hal ini berpengaruh terhadap keawetan dari lapis. Jika hal ini terjadi, akan menimbulkan pelepasan butiran pada lapisan. Faktor yang mempengaruhi nilai VIM yaitu bentuk butiran agregat, gradasi agregat, kadar aspal, suhu dan faktor pemadatan. Dari hasil tersebut pada variasi normal dan variasi 4% nilai VIM yang didapat memenuhi persyaratan (Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018) yaitu pada rentang 3-5 mm. Sedangkan pada variasi 2%, 6%, dan 8% tidak memenuhi persyaratan.

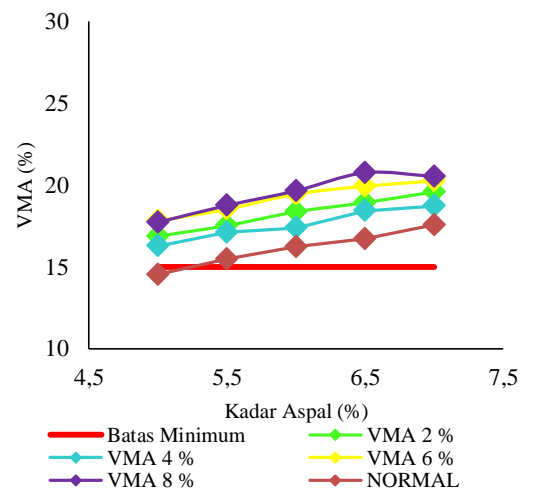
d. *Void Filled With Asphalt* (VFA)



Gambar 6. Grafik hubungan antara kadar aspal dan VFA

Nilai VFA semakin tinggi berarti semakin banyak rongga dalam campuran yang terisi aspal sehingga kedekatan campuran terhadap air dan udara juga akan semakin tinggi. Pada kadar aspal 5 %, 5,5 %, dan 6 % terdapat beberapa campuran beton aspal variasi yang tidak memnuhi nilai yang didapat pada berada di bawah batas minimum yang disyaratkan (Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018) yaitu min 65%.

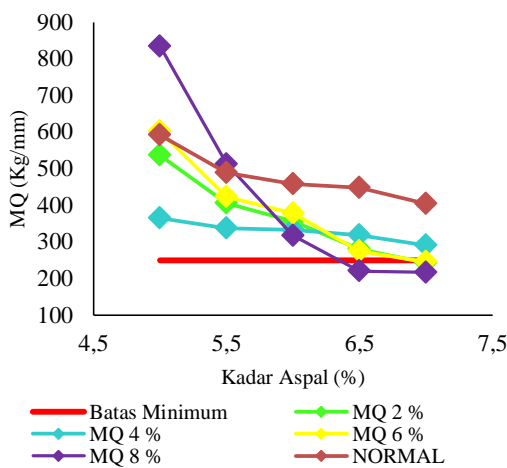
e. *Voids in Mineral Agregat* (VMA)



Gambar 7. Grafik hubungan antara kadar aspal dan VMA

Grafik hubungan kadar aspal dengan VMA berbanding lurus, dimana semakin tinggi persentase kadar aspal, semakin tinggi juga nilai persentase VMA yang didapatkan. Pada campuran beton aspal normal dan variasi didapat nilai VMA terendah pada kadar aspal 5% dan tertinggi pada kadar aspal 7% dimana nilai *vma* mempengaruhi kemampuan agregat dalam mengisi setiap rongga dalam campuran sehingga mampu menghasilkan daya tahan dalam suatu campuran perkerasan belum memenuhi persyaratan (Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018) yaitu min 15%.

f. Marshall Quotient (MQ)



Gambar 8. Grafik hubungan antara kadar aspal dan Marshall Quotient

Grafik hubungan antara kadar aspal dan *marshall quotient* semakin tinggi nilai *marshall quotient* suatu campuran, maka semakin kaku campuran tersebut. Semakin rendah nilai *marshall quotient* suatu campuran, maka resiko yang memungkinkan adalah retak permukaan. Nilai MQ tertinggi berada pada kadar aspal 5% dan nilai MQ terendah pada kadar aspal 7% (Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018) yaitu minimal 250 kg/mm.

3.4 Kadar Aspal Optimum (KAO)

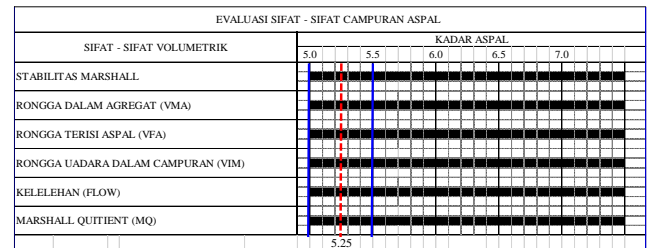
Tabel 8. Evaluasi volumetrik campuran AC - WC

Variasi	KAO	Stability	MQ	Flow	VIM	VFA	VMA
		Kg	Kg/mm	mm	%	%	%
Normal	5,25	1.723,71	540,91	3,20	4,84	67,85	17,57
Karet Ban 2%	6,75	1.118,10	261,84	4,28	5,51	73,88	19,26
Karet Ban 4%	6,25	1.290,87	325,96	3,96	5,18	71,53	17,91
Karet Ban 6%	6,25	1.107,89	327,13	3,64	7,24	64,65	19,69
Karet Ban 8%	5,75	963,51	414,89	2,92	7,90	59,14	19,21

Variasi	KAO	Stability	MQ	Flow	VIM	VFA	VMA
		Kg	Kg/mm	mm	%	%	%
Spesifikasi		Min 800	Min 250	2 - 5	3 - 5	Min 65	Min 15

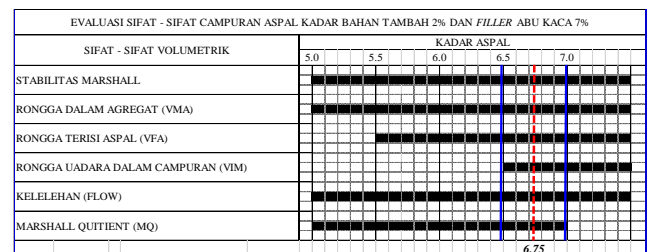
Berdasarkan Tabel 9, di atas menunjukkan hubungan parameter *Marshall* dengan kadar aspal pada penggunaan variasi karet ban bekas diperoleh yaitu. Untuk campuran Normal didapatkan nilai KAO 5,25% dan campuran variasi 2% didapatkan nilai KAO 6,75% namun hasil dari evaluasi nilai VIM belum memenuhi, sedangkan untuk variasi 4% didapat nilai KAO 6,25%, namun dari hasil evaluasi nilai VIM memenuhi, variasi 6% didapat nilai KAO 6,25%, namun dari hasil evaluasi nilai VIM, VFA belum memenuhi dan variasi 8% didapat nilai KAO 5,75%, namun dari hasil evaluasi nilai VIM dan VFA belum memenuhi. Dari hasil evaluasi tersebut variasi karet ban bekas 2%, 4%, 6% dan 8% belum memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Sehingga variasi campuran tersebut belum dapat digunakan untuk perkerasan jalan raya.

Berikut grafik hasil evaluasi sifat - sifat campuran aspal pada campuran aspal normal yang ditunjukkan gambar 9.



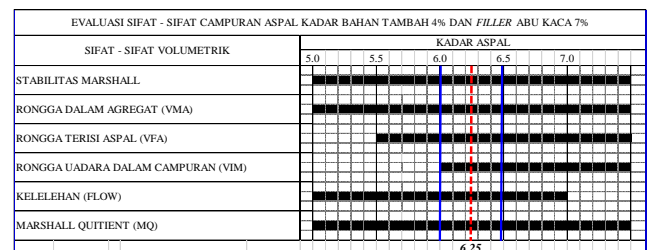
Gambar 9. Grafik evaluasi KAO campuran normal

Berikut Grafik hasil evaluasi sifat - sifat Campuran Aspal pada campuran aspal Modifikasi yang ditunjukkan gambar 10.



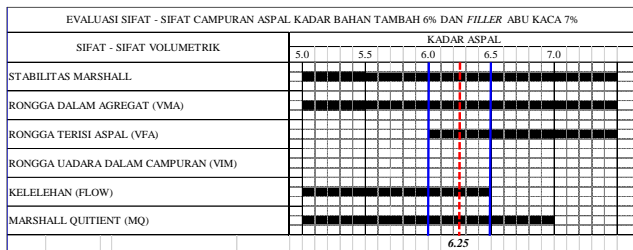
Gambar 10. Grafik evaluasi KAO AC – WC dengan kadar bahan tambah 2% dan filler Serbuk kaca 7%.

Berikut Grafik hasil evaluasi sifat - sifat Campuran Aspal pada campuran aspal Modifikasi yang ditunjukkan gambar 11.



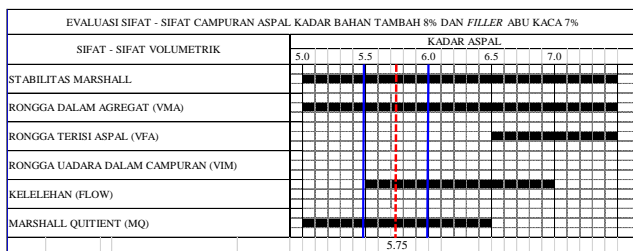
Gambar 11. Grafik evaluasi KAO AC –WC dengan kadar bahan tambah 4% dan filler Serbuk kaca 7 %

Berikut Grafik hasil evaluasi sifat - sifat Campuran Aspal pada campuran aspal Modifikasi yang ditunjukkan gambar 12.



Gambar 12. Grafik evaluasi KAO AC – WC dengan kadar bahan tambah 6% dan filler Serbuk kaca 7 %

Berikut Grafik hasil evaluasi sifat - sifat Campuran Aspal pada campuran aspal Modifikasi yang ditunjukkan gambar 13.



Gambar 13. Grafik evaluasi KAO AC – WC dengan kadar bahan tambah 8% dan filler Serbuk kaca 7 %

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian pengaruh penambahan Karet ban sepeda motor bekas dengan filler serbuk kaca, dapat mempengaruhi peningkatan dan juga penurunan terhadap karakteristik marshall. Hasil yang didapat dari evaluasi volumetrik untuk penggunaan variasi ban sepeda motor bekas 2%, 4%, 6%, dan 8% belum memenuhi spesifikasi yang disyaratkan terutama pada nilai VIM, dan VFA dengan syarat yang ditentukan untuk VIM sebesar 3,5 – 5% dan nilai VFA Min 65% sedangkan yang didapat dari hasil evaluasi untuk kadar 2% mendapatkan nilai VIM sebesar 5,51%, pada kadar 4% mendapatkan nilai VIM 5,18%, kadar 6% mendapatkan nilai VIM 7,24% dan VFA 64%, pada kadar 8% mendapatkan nilai VIM 7,90% dan VFA 59,1%.

REFERENSI

[1] T. Pada, B. A. Dengan, And F. Gypsum, "Pengaruh Penambahan Limbah Ban Karet Sebagai Bahan Tambah Pada Beton Ac-Wc Dengan Filler Gypsum," 2017.

[2] A. Tahir, "Karakteristik Campuran Beton Aspal (Ac-Wc) Dengan Menggunakan Variasi Kadar Filler Abu Terbang Batu Bara," *Smartek*, Vol. 7, No. 4, 2009.

[3] T. J. Irwanto, N. L. Suryani, And S. Renaldi, "Perbandingan Karakteristik Marshall Aspal Karet (Natural Rubber Modified Asphalt) Dan Aspal Penetrasi 60/70 Pada Campuran Asphalt Concrete-Wearing Course (Ac-Wc) Menggunakan Agregat

Lokal Madura," *Ge-Stram J. Perenc. Dan Rekayasa Sipil*, Vol. 6, No. 1, Pp. 33–38, 2023.

[4] M. Irfan, "Karakteritik Marshall Pada Campuran Ac-Wc Dengan Menggunakan Aspal Karet Dan Fly Ash." 021008 Universitas Tridinanti, 2023.

[5] R. Rani Fatimah Azzahra, "Analisa Perbandingan Kualitas Antara Aspal Ac-Wc Konvensional Dengan Aspal Ac-Wcwr (Natural Rubber)." Universitas Balikpapan, 2022.

[6] N. L. Lebang And N. M. Y. Lewaherilla, "Analisa Stabilitas Campuran Aspal Beton Lapis Aus (Ac-Wc) Dan Karet Alam Sebagai Material Perkerasan Jalan," *Manumata J. Ilmu Tek.*, Vol. 7, No. 2, Pp. 140–146, 2021.

[7] G. G. Y. Riruma And P. Istia, "Pengaruh Penambahan Karet Ban Bekas Terhadap Sifat Marshall Campuran Aspal Ac-Wc," *J. Simetrik*, Vol. 13, No. 2, Pp. 757–764, 2023.

[8] K. Ban, P. Campuran, And L. Aspal, "Pengaruh Penggunaan Bahan Tambah Serbuk Karet Ban Pada Campuran Lapis Aspal Beton," Vol. 1, No. 1, Pp. 9–17, 2013.

[9] I. Indrawan *Et Al.*, "Pemanfaatan Serbuk Kaca Sebagai Bahan Tambah Dalam Pembuatan Batako Use Of Materials As Glass Powder Added In Making Batako Nursyamsi 1 , Ivan Indrawan 2 , Ika Puji Hastuty 3," 2016.

[10] A. Amaral Moreira, "Pengaruh Penambahan Getah Karet Pada Campuran Ac-Bc Penetrasi 60/70 Terhadap Karakteristik Marshall." Universitas Sangga Buana Ypkp, 2024.

[11] A. T. Mulyono And L. B. Suparma, "Pengaruh Ukuran Butir Karet Ban Bekas Terhadap Karakteristik Marshall Pada Campuran Asphalt Concrete-Binder Course," *J. Hpji (Himpunan Pengemb. Jalan Indones.*, Vol. 9, No. 2, Pp. 83–92, 2023.

[12] A. R. Putra, A. Abrar, And N. Abdillah, "Pengaruh Campuran Aspal Dengan Bahan Tambah Lateks Cair 60% Dan Filler Serbuk Kaca Terhadap Karakteristik Marshall," *Slump Tes J. Tek. Sipil*, Vol. 1, No. 2, Pp. 69–80, 2023.

[13] H. S. Yunita, "Analisis Pengaruh Bottom Ash Dan Fly Ash Sebagai Material Substitusi Pada Campuran Asphalt Concrete-Wearing Course (Ac-Wc)." Universitas Islam Sultan Agung Semarang, 2023.

[14] D. Yogi, "Studi Penggunaan Aspal Karet Pada Campuran Asphalt Concrete-Wearing Course (Ac-Wc) Terhadap Parameter Marshall." Universitas Andalas, 2024.

[15] D. Jenderal And B. Marga, "Spesifikasi Umum 2018," No. September, 2018.