



Karakteristik Penggunaan Limbah Serbuk Kaca pada Campuran Aspal Laston (AC-BC) Terhadap Parameter Marshall

Ilham Maulana Syafi^{1✉}, Nurani Hartatik², Aditya Rizkiardi³

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, Indonesia^(1,2,3)

DO: 10.31004/jutin.v7i2.28066

✉ Corresponding author:
[1lh4m.lana@gmail.com]

Article Info

Abstrak

Kata kunci:
Serbuk Kaca;
Aspal;
Filler;
AC-BC;
Marshall

Peningkatan volume pengguna transportasi setiap tahunnya mengalami dampak tidak stabil pada kualitas dalam membangun infrastruktur khususnya pada jalan beraspal sehingga perlu adanya pemantauan dalam memperbaiki kerusakan pada jalan beraspal untuk lebih efektif dan efisien. Salah satu pemeliharaan atau perbaikan perkerasan aspal yang melewati batas masa rencana pada Lapisan Aspal Beton AC-BC adalah dengan cara pengalihan material umum pada *filler* menggunakan metode *Marshall*. Peneliti ingin mengeksplorasi substitusi material umum *filler* salah satunya menggunakan limbah serbuk kaca dalam meningkatkan stabilitas lapisan. Material limbah serbuk kaca yang digunakan adalah hasil sisa produksi CV Sari Jaya Aluminium, Mojokerto. Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui hasil pengaruh limbah serbuk kaca terhadap parameter Marshall; dalam lapisan Laston AC-BC. Hasil yang diperoleh pada pengaruh penggunaan *filler* limbah serbuk kaca optimal paling efisien adalah kadar variasi *filler* 2,5% dengan kadar aspal rencana 6,0%. Seluruh hasil parameter karakteristik *Marshall* yang diperoleh telah memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga (revisi 2) Tahun 2018.

Abstract

Keywords:
Glass Powder;
Asphalt;
Filler;
AC-BC;
Marshall

The increasing volume of transportation users annually has had an unstable impact on the quality of infrastructure construction, particularly on asphalt roads. Therefore, there is a need for monitoring to effectively and efficiently address damages to asphalt roads. One method of maintenance or repair for asphalt pavement that exceeds the planned lifespan in the Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC) layer is through the diversion of common filler materials using the Marshall method. The researcher aims to explore the substitution of common filler materials, one of which involves utilizing waste glass powder to enhance layer stability. The waste glass powder material utilized is sourced from the production

remnants of CV Sari Jaya Aluminum, located in Mojokerto. The research aims to investigate the impact of waste glass powder on Marshall parameters AC-BC Laston layer. The optimal and most efficient outcome obtained from the use of waste glass powder filler influence is a filler variation level of 2.5% with a planned asphalt content of 6.0%. All the obtained Marshall characteristic parameter results have met the requirements of the General Specification of Bina Marga (revision 2) Year 2018.

1. INTRODUCTION

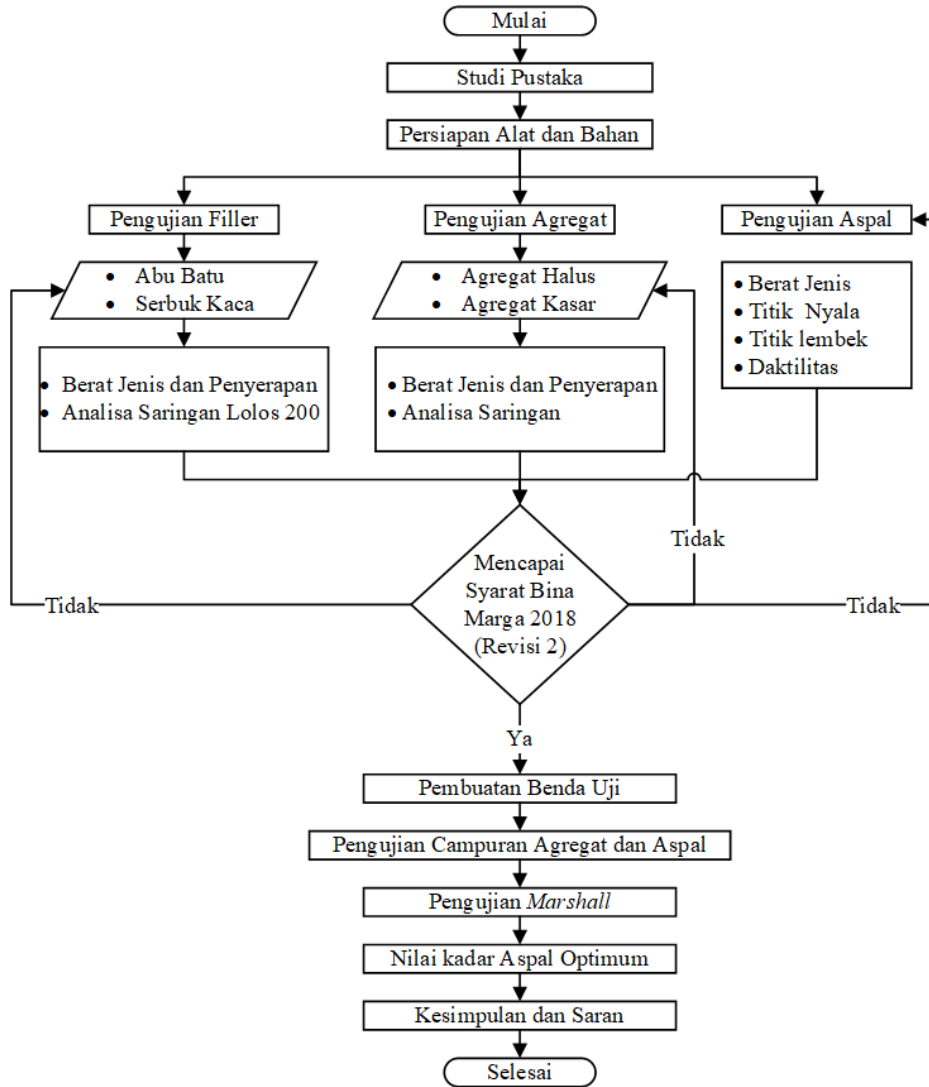
Semakin bertambahnya tahun dengan perkembangan jumlah transportasi maupun pengguna transportasi di Indonesia kini semakin padat. Bukan hanya transportasi yang mengikat pertumbuhan lalu lintas serta cuaca yang tidak menentu menjadi sebab dari kerusakan fisik pada permukaan jalan. Jalan adalah tempat transportasi yang sangat penting sebagai akses masyarakat sehingga banyak material dan bahan yang dibutuhkan untuk bisa menjadikan perkerasan jalan yang efisien. upaya upaya dalam meningkatkan mutu jalan yang optimal, dengan tersedianya material yang dibutuhkan akan memudahkan dalam pembangunan perkerasan jalan terutama pada perkerasan jalan aspal beton. (Sita, 2020). Pada perkerasan jalan, kerusakan progresif pada jalan yang terjadi sampai saat ini pada dasarnya sudah mengalami kerusakan sejak dibuka pertama kali suatu jalan yang melayani lalu lintas, di mana kerusakan dari satu atau lebih kegagalan komponen perkerasan tidak dapat lagi menahan beban lalu lintas. Beberapa kerusakan jalan dini pada badan jalan disebabkan kurangnya memenuhi kualitas standart dan kendaraan yang bermuatan lebih. (Juara & Sukowiyono, 2018).

Lapisan perkerasan jalan yang sering digunakan menggunakan Jenis campuran beraspal panas yang disebut juga Lapis Aspal Beton (LASTON) atau AC (*Asphalt Concrete*) dengan beberapa macam perkerasan lentur (*flexible pavement*). Lapisan perkerasan jalan yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, *filler* dan aspal, yang dicampur, dihampar dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu. (Direktorat Jendral Bina Marga, 2020).

Dalam mendapatkan campuran beraspal yang terdistribusi seimbang dan saling mengisi pada suatu perkerasan jalan dibutuhkan bahan pengisi *filler* untuk mendukung kekuatan dan memenuhi rongga dalam campuran sehingga aspal rapat dan padat pada lapisan perkerasan aspal beton. Umumnya Jenis *filler* yang sering digunakan dalam campuran lapis aspal beton seperti semen, debu kapur, abu terbang, dan abu batu. (Shaw, 2000)

Maka dari itu penulis menyadari salah satu alternatif lain yang lebih ekonomis sebagai bahan pengalih *filler* dengan menggunakan salah satunya limbah kaca yang melewati proses hingga menjadi serbuk kaca. Komponen utama dalam limbah kaca adalah silicon dioxide (reactive silica) dan alkali. Silika sendiri adalah bahan bersifat mengikat atau memiliki adhesi yang tinggi. Penggunaan Limbah kaca bertindak sebagai anti-stripping agent yang dapat meningkatkan durabilitas atau keawetan kinerja campuran beton aspal dalam menerima repetisi beban lalu lintas serta menahan keausan akibat pengaruh cuaca. (Khair et al., 2023). Dalam meningkatkan masa berlakunya perkerasan aspal, peninjauan pengalih *filler* dengan serbuk kaca dengan menggunakan metode *Marshall* dari setiap parameter meliputi; kepadatan (*density*), VMA (*Vod in Mineral Agregate*), VFB (*Vod Filled with Bitumen*), VIM (*Vod In Mix*), Stabilitas, Pelelehan (*Flow*) dan MQ (*Marshall Quotien*) dimana parameter tersebut nantinya untuk mengetahui seberapa berpengaruhnya serbuk kaca sebagai pengalih *filler*.

2. METODE PENELITIAN



Gbr. 1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian nantinya melakukan pengujian menggunakan metode *Marshall* untuk mengetahui pengaruh serbuk kaca digunakan pada campuran Lapis Aspal Beton (LASTON) AC-BC (*Asphalt Concrete Binder Course*) yang dilakukan di Laboratorium Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya serta pengambilan material bahan serbuk kaca yang digunakan dari hasil limbah buangan CV Sari Jaya Alumunium, Mojokerto. Prosedur pengujian yang dilakukan mengikuti diagram alir gambar 2.

2.1 Prosedur Persiapan Material

Dalam melaksanakan suatu pengujian dipersiapkan material serta alat dan bahan pendukung yang akan digunakan pada setiap macam pengujian. Berikut persiapan material yang dibutuhkan meliputi:

1. Agregat kasar sesuai spesifikasi fraksi 10-20, fraksi 10-15, fraksi 5-10 kering oven dengan kebutuhan menyesuaikan pengujian.
2. Agregat halus sesuai spesifikasi fraksi 0-5 kering oven dengan kebutuhan menyesuaikan pengujian.
3. Limbah kaca yang diolah terlebih dahulu dengan penumbukan berkala hingga memenuhi spesifikasi sebagai *filler* lolos saringan 200 minimum 75% dari berat semula rencana.
4. Air sulingan sesuai kebutuhan pengujian dan aspal pen 60/70 pertamina.

2.2 Pemeriksaan Material

langkah-langkah pengujian yang akan dilakukan dan pemeriksaan material terlampir dan dapat dilihat berdasarkan SNI yang telah terlampir dalam bentuk tabel 2. Standardisasi Nasional Indonesia.

Tabel 1. Pemeriksaan Pengujian Agregat Kasar dan Halus

No.	Jenis Pengujian	Standart Pemeriksaan	Spesifikasi
Hasil Pengujian Agregat Kasar			
1	Analisa saringan lolos ayakan No. 200		
	Analisa saringan fraksi 5-10	SNI ASTM C136:2012	< 1%
	Analisa saringan fraksi 10-15	SNI ASTM C136:2012	< 1%
	Analisa saringan fraksi 10-20	SNI ASTM C136:2012	< 1%
2	Abrasi 500x Putaran	SNI 2417-2008	< 40%
3	Kelekatan agregat terhadap aspal	SNI 2439-2011	> 95%
4	Berat jenis dan penyerapan fraksi 10-20		
	Berat jenis bulk	SNI 1969-2016	> 2,5%
	Berat jenis SSD	SNI 1969-2016	> 2,5%
	Berat jenis semu	SNI 1969-2016	> 2,5%
	Penyerapan air oleh agregat (%)	SNI 1969-2016	< 3%
6	Berat jenis dan penyerapan fraksi 10-15		
	Berat jenis bulk	SNI 1969-2016	> 2,5%
	Berat jenis SSD	SNI 1969-2016	> 2,5%
	Berat jenis semu	SNI 1969-2016	> 2,5%
	Penyerapan air oleh agregat (%)	SNI 1969-2016	< 3%
7	Berat jenis dan penyerapan fraksi 5-10		
	Berat jenis bulk	SNI 1969-2016	> 2,5%
	Berat jenis SSD	SNI 1969-2016	> 2,5%
	Berat jenis semu	SNI 1969-2016	> 2,5%
	Penyerapan air oleh agregat (%)	SNI 1969-2016	< 3%
Hasil Pengujian Agregat Halus			
1	Analisa saringan lolos ayakan No.200		
	Analisa saringan fraksi 0-5	SNI ASTM C136:2012	< 8%
2	Sand Equivalent	SNI 15-2049-2004	> 50%
3	Berat jenis dan penyerapan fraksi 0-5		
	Berat jenis bulk	SNI 1969-2016	> 2,5%
	Berat jenis SSD	SNI 1969-2016	> 2,5%
	Berat jenis semu	SNI 1969-2016	> 2,5%
	Penyerapan air oleh agregat (%)	SNI 1969-2016	< 3%

(Sumber : Olahan data penulis)

Tabel 2. Lanjutan Pemeriksaan Pengujian Filler dan Aspal

No.	Jenis Pengujian	Standart Pemeriksaan	Spesifikasi
Hasil Pengujian Filler			
1	Analisa saringan lolos ayakan No.200		
	Analisa saringan filler abu batu	SNI ASTM C136:2012	> 75%
	Analisa saringan filler serbuk kaca	SNI ASTM C136:2012	> 75%
2	Berat jenis dan penyerapan		
	Berat jenis filler serbuk kaca	SNI 15-2049-2004	> 2,5%
Hasil Pengujian Aspal			
1	Berat jenis aspal	SNI 2441:2011	≥ 1,0
2	Penetrasi aspal 25°C	SNI 2432:2011	60/70
3	Titik nyala	SNI 2433:2011	≥ 232
4	Titik lembek	SNI 2434:2011	≥ 48
5	Kelekatan agregat terhadap aspal	SNI 2439:2011	95%

(Sumber : Olahan data penulis)

2.3 Penentuan Campuran Agregat (Job Mix Design)

Dalam mencampur agregat dilakukan setelah seluruh spesifikasi dalam agregat terpenuhi, terutama pada pengujian analisa saringan. Pencampuran agregat diperlukan agar gradasi campuran pada setiap fraksi agregat Langkah-langkah menentukan *job mix design* sebagai berikut:

1. Membuat tabel persentase setiap fraksi angregat dengan salah satunya cara menggunakan metode "*Trial and Error*". Metode dengan cara melakukan percobaan-percobaan persentase setiap fraksi agar gradasi campurannya sesuai dengan *range* gradasi yang disyaratkan atau gradasi amplop
2. Menghitung nilai kadar aspal optimum rencana (Pb) dengan rumus:

$$Pb = 0,035 (\%CA) + 0,045(\%FA) + 0,18(\%Filler) + K$$
 Keterangan :
 Ca = Persentase material tertahan saringan No.8
 FA = Persentase material lolos nomor 8 dan tertahan nomor 200
 FF = Persentase material lolos saringan No.200 (*filler*)
 K = Konstantan adalah 0,5 – 1
3. Menghitung dan menimbang kebutuhan material agregat, aspal dengan kadar masing-masing dan serbuk kaca sebagai *filler* yang digunakan dengan variasi kadar 1,5%, 2% dan 2,5%.
4. Membuat, mencampur dan mengaduk hingga menyelimuti benda uji sesuai rencana kebutuhan yang akan digunakan dengan langkah pengujian sebagai berikut:
 - Setelah benda uji ditumbuk tiap sisi 75 kali, benda uji dilepaskan didinginkan sampai keadaan suhu ruang.
 - Menimbang benda uji dalam keadaan kering (Bk) kemudian merendam benda uji dalam air selama 24 jam
 - Setelah 24 jam, benda uji diangkat dan dibersihkan dengan lap sampai keadaan kering permukaan kemudian penimbangan SSD dan menimbang berat dalam air (Ba)

2.4 Pengujian Marshall

Pengujian *Marshall* dilakukan setelah semua benda uji telah terpenuhi dan selanjutnya dilakukannya *test Marshall* dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Perendaman benda uji di dalam *water bath* suhu 600C selama 30 menit.
2. Setelah terendam selama 30 menit, benda uji dikeluarkan dari oven perendam kemudian diletakkan pada segmen bawah kepala penekan.
3. Arloji kelelahan (*flow meter*) dipasang pada kedudukannya, putar pengatur jarum arloji kelelahan sampai menunjukkan angka nol.
4. Pastikan selubung tangka arloji (*sleve*) dipegang teguh terhadap segmen atas kepala penekan (*breaking head*).
5. Kepala penekan beserta benda uji dinaikkan hingga menyentuh atau menempel alas cincin penguji dengan memutar tombol up pada mesin penguji. Kedudukan jarum arloji penekan diatur pada angka nol.
6. Pemberian beban pada benda uji dengan memutar tombol up mesin penguji. Pembebanan terhadap benda uji dengan kecepatan yang tetap, yaitu 50 mm per menit. Pembebanan dikatakan maksimum apabila putaran jarum arloji penekan menunjukkan gerak kebalikan arah.
7. Apabila pembebanan mencapai maksimum, angka kelelahan dicatat yang ditunjukkan oleh jarum arloji kelelahan. Berlaku dengan angka ketahanan dicatat yang ditunjukkan oleh jarum arloji ketahanan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian Analisa Saringan

Hasil dari analisa saringan agregat bertujuan untuk mendapatkan hasil agregat yang baik dan berkualitas pada laston AC-BC dengan menentukan penyusunan campuran agregat dan melakukan pemeriksaan sifat serta karakteristik dari setiap fraksi fraksi. Seluruh Pengujian dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 3. Hasil Pemeriksaan Pengujian Analisa Saringan Agregat

No.	Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Lolos Ayakan No. 200	Hasil				Standart Pemeriksaan	Spek
		Sample %			Rata - Rata %		
		Satu	Dua	Tiga			
1	Agregat kasar fraksi 10-20	0,21	0,12	0,12	0,15	SNI ASTM C136:2012	< 1%

2	Agregat kasar fraksi 10-15	0,21	0,17	0,19	0,19	< 1%
3	Agregat kasar fraksi 5-10	0,77	0,68	1,05	0,83	< 1%
4	Agregat halus fraksi 0-5	4,96	4,72	4,52	4,73	< 8%
5	Filler serbuk kaca	91,15	89,54	90,06	90,25	> 75%

(Sumber : Olahan data penulis)

Seluruh hasil pengujian analisa saringan setiap fraksi agregat lolos ayakan No. 200 yang diperoleh telah memenuhi standar pemeriksaan yang berpedoman Spesifikasi Umum Bina marga (Revisi 2) tahun 2018.

3.2 Hasil pengujian Berat jenis, penyerapan, keausan dan sand equivalent Agregat

Hasil dari pengujian berat jenis dan penyerapan agregat bertujuan mendapatkan hasil berat jenis, berat kering permukaan jenuh dan berat jenis semu pada agregat kasar dari setiap fraksi dan memperoleh hasil penyerapan air agregat. Pengujian keausan bertujuan sebagai penentu ketahanan agregat kasar terhadap keausan dalam perbandingan berat bahan aus menggunakan saringan No.12 terhadap berat semula. Pengujian sand equivalent bertujuan mengetahui kualitas pasir lolos ayakan No.4. Seluruh pengujian dilihat pada tabel 5.

Tabel 4. Hasil Pemeriksaan Pengujian Berat Jenis, Penyerapan, Keausan, dan Sand Equifalend Agregat

No.	Hasil Pengujian Berat Jenis Penyerapan Setiap Fraksi	Hasil				Standart Pemeriksaan	Spek
		Sample %			Rata - Rata %		
		Satu	Dua	Tiga			
1	Berat jenis bulk 10-20	2,586	2,57	2,501	2,55	SNI 1969-2016	> 2,5%
	Berat jenis SSD 10-20	2,612	2,604	2,529	2,58		> 2,5%
	Berat jenis semu 10-20	2,657	2,659	2,572	2,63		> 2,5%
	Penyerapan air 10-20	1,034	1,294	1,103	1,14		< 3%
2	Berat jenis bulk 10-15	2,587	2,575	2,82	2,66	SNI 1969-2016	> 2,5%
	Berat jenis SSD 10-15	2,615	2,602	2,855	2,69		> 2,5%
	Berat jenis semu 10-15	2,661	2,647	2,924	2,74		> 2,5%
	Penyerapan air 10-15	1,076	1,063	1,26	1,13		< 3%
3	Berat jenis bulk 5-10	2,487	2,515	2,509	2,50	SNI 1969-2016	> 2,5%
	Berat jenis SSD 5-10	2,536	2,564	2,551	2,55		> 2,5%
	Berat jenis semu 5-10	2,614	2,644	2,62	2,63		> 2,5%
	Penyerapan air 5-10	1,949	1,937	1,698	1,86		< 3%
4	Berat jenis bulk 0-5	2,502	2,522	2,541	2,52	SNI 1969-2016	> 2,5%
	Berat jenis SSD 0-5	2,535	2,56	2,573	2,56		> 2,5%
	Berat jenis semu 0-5	2,586	2,623	2,625	2,61		> 2,5%
	Penyerapan air 0-5	1,273	1,509	1,245	1,34		< 3%
5	Abrasi 500 kali putaran	32,72	36,72	32,6	34,01	SNI 2417-2008	< 40%
6	Sand equivalent	75,00	77,50	73,81	75,44	SNI 15-2049-2004	> 50%
7	Berat jenis filler serbuk kaca	2,283	2,837	2,47	2,53	SNI 15-2049-2004	> 2,5%

(Sumber : Olahan data penulis)

Seluruh hasil pengujian pada tabel 4 telah memenuhi standar pemeriksaan yang berpedoman Spesifikasi Umum Bina marga (Revisi 2) tahun 2018.

3.3 Hasil Pengujian Aspal

Dinyatakan aspal keras ini dengan angka, semaki tinggi penetrasinya semakin keras aspal dan konsentrasi aspal. Aspal layak atau akan digunakan ini melalui beberapa pengujian dapat dilihat hasil pengujian pada tabel 6.

Tabel 5. Hasil Pemeriksaan Pengujian Aspal

No.	Hasil Pengujian Berat Jenis Penyerapan Setiap Fraksi	Hasil				Standart Pemeriksaan	Spek
		Sample %			Rata - Rata %		
		Satu	Dua	Tiga			
1	Berat jenis aspal	1,038	1,019	1,031	1,03	SNI 2441:2011	≥ 1,0

2	Penetrasi aspal 25°C	66,00	63,60	65,40	65,0	SNI 2432:2011	60/70
3	Titik nyala	273	276	273	274	SNI 2433:2011	≥ 232
4	Titik lembek	53	52	51	52	SNI 2434:2011	≥ 48
5	Kelekatan aspal terhadap agregat	100,00			100	SNI 2439:2011	≥ 95%

(Sumber : Olahan data penulis)

Seluruh hasil pengujian aspal telah memenuhi standar pemeriksaan yang berpedoman Spesifikasi Umum Bina marga (Revisi 2) tahun 2018.

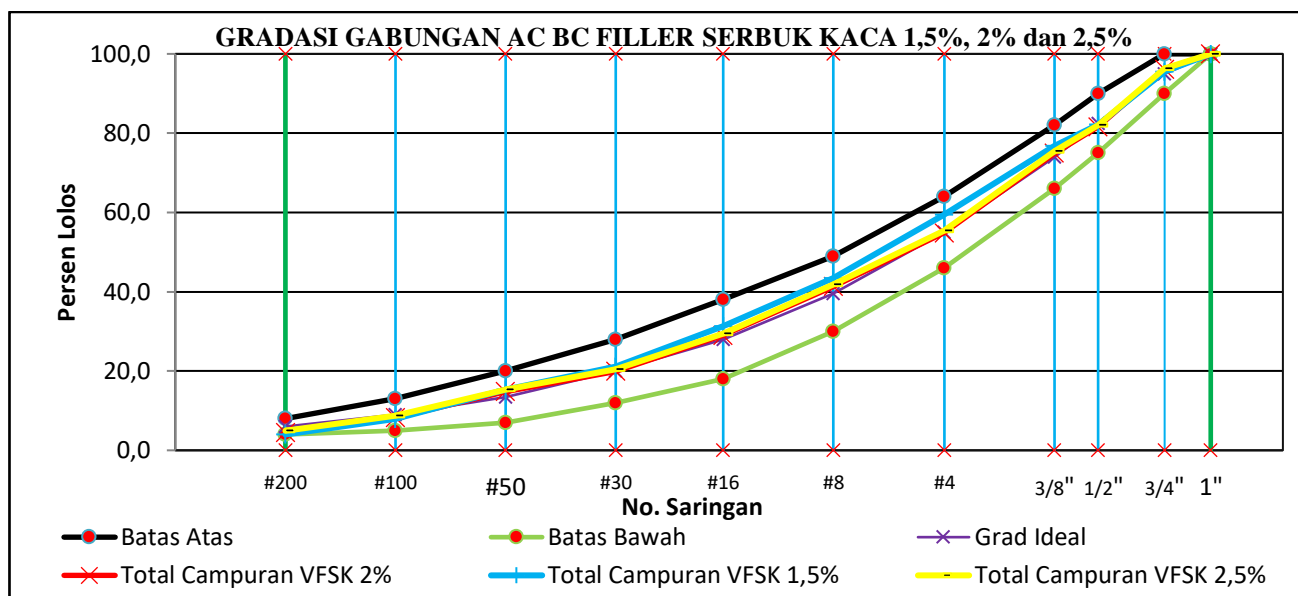
3.4 Gradasi Agregat Campuran

Setelah terpenuhinya dalam pengujian agregat serta pengujian aspal dilanjutkan dengan *Blending aggregate* menggunakan metode "trial and error" dimana metode ini akan melakukan percobaan beberapa kali hingga memenuhi dan supaya campuran agregat pada tiap-tiap fraksi yang digunakan sesuai spesifikasi yang diinginkan menurut Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018. Gradasi agregat dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 6. Hasil Pengolahan Gradasi Agregat

URAIAN	SIEVE SIZE											
	Inch	1"	3/4"	1/2"	3/8"	#4	#8	#16	#30	#50	#100	#200
	mm	25,4	19,0	12,5	9,5	4,75	2,36	1,18	0,600	0,300	0,150	0,075
Kombinasi Agregat 2,5%												
- Agregat Kasar (10-20)	9,5%	9,50	5,83	0,46	0,13	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01
- Agregat Kasar (10-15)	18,0%	18,00	18,00	9,15	2,93	0,12	0,06	0,06	0,04	0,04	0,04	0,03
- Agregat Sedang (5-10)	25,0%	25,00	25,00	25,00	24,87	7,72	1,38	0,59	0,49	0,40	0,31	0,21
- Agregat Halus (0-5)	45,0%	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	37,83	26,31	17,40	12,35	5,91	2,43
- Serbuk Kaca	2,5%	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,48	2,43	2,26
Total campuran VF 2,5%	100%	100	96,33	82,12	75,43	55,37	41,79	29,49	20,45	15,29	8,71	4,94
Kombinasi Agregat 2%												
- Agregat Kasar (10-20)	10%	10,00	6,13	0,49	0,14	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01
- Agregat Kasar (10-15)	18%	18,00	18,00	9,15	2,93	0,12	0,06	0,06	0,04	0,04	0,04	0,03
- Agregat Sedang (5-10)	25%	25,00	25,00	25,00	24,87	7,72	1,38	0,59	0,49	0,40	0,31	0,21
- Agregat Halus (0-5)	45%	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00	37,83	26,31	17,40	12,35	5,91	2,43
- Serbuk Kaca	2%	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,98	1,94	1,81
Total campuran VF 2%	100%	100	96,13	81,64	74,94	54,87	41,30	28,99	19,95	14,80	8,22	4,49
Kombinasi Agregat 1,5%												
- Agregat Kasar (10-20)	11,5%	11,50	7,05	0,56	0,16	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02
- Agregat Kasar (10-15)	14%	14,00	14,00	7,12	2,28	0,09	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
- Agregat Sedang (5-10)	22%	22,00	22,00	22,00	21,89	6,79	1,21	0,52	0,43	0,36	0,27	0,18
- Agregat Halus (0-5)	51%	51,00	51,00	51,00	51,00	51,00	42,20	29,21	19,11	13,42	6,13	2,41
- Serbuk Kaca	1,5%	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	0,00	1,50	1,50	1,49	1,46	1,35
Total campuran VF 1,5%	100%	100	95,55	82,18	76,83	59,42	43,49	31,31	21,10	15,32	7,91	3,99
Gradasi Ideal		100	95,00	82,50	74,00	55,00	39,50	28,00	20,00	13,50	9,00	6,00

(Sumber : Olahan data penulis)



Gbr. 2. Grafik Gradasi Agregat Filler Serbuk Kaca

Seluruh gradasi campuran agregat dan filler serbuk kaca variasi 1,5%, 2% dan 2,5% tanpa aspal didalamnya telah sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga (revisi 2) Tahun 2018 pada perkerasan Lapis Aspal Beton AC-BC. Setelah komposisi gradasi agregat terpenuhi dilanjutkan untuk menentukan kadar aspal optimum rencana setiap fraksi agregat dengan selisih interval 0,5% ditetapkan dua kadar aspal di bawah nilai kadar aspal rencana dan dua kadar aspal di atas nilai kadar aspal rencana. Diperoleh hasil rata-rata komposisi agregat setiap variasi filler 1,5%, 2% dan 2,5% dengan Kadar aspal optimum rencana didapatkan hasil 5,5% maka, jumlah kebutuhan briket dapat ditentukan sesuai rencana penulis dan adapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 7. Penentuan Benda uji (Briket) dengan Filler Serbuk Kaca

Variasi	Filler	Kadar Aspal Rencana (Pb)/Benda Uji					Jumlah Briket	Total Briket
		4,50%	5%	5,50%	6%	6,50%		
1,50%	Serbuk Kaca	3	3	3	3	3	15	45
2%		3	3	3	3	3	15	
2,50%		3	3	3	3	3	15	

(Sumber : Olahan data penulis)

3.5 Hasil Pengujian Marshall

Pengujian Marshall yang dilakukan melalui proses oenggorengan dan penumbukan sebanyak 75 kali setiap sisi serta bertujuan untuk mendapatkan hasil nilai dengan beberapa parameter Marshall dapat dilihat pada tabel 9.

Tabel 8. Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall

No.	Pengujian Marshall	Filler kaca	Kadar Aspal					Satuan	Spesifikasi	
			4,5%	5,0%	5,5%	6,0%	6,5%		Min	Max
1	Berat kering	1,5%	1187,50	1177,43	1178,67	1175,50	1184,67	gram	-	-
		2,0%	1184,60	1186,10	1187,03	1176,07	1184,30			
		2,5%	1188,60	1187,87	1188,70	1187,03	1186,57			
2	Berat SSD	1,5%	1203,77	1192,53	1192,00	1190,50	1193,73	gram	-	-
		2,0%	1199,73	1201,20	1200,03	1188,33	1197,00			
		2,5%	1204,57	1203,77	1199,63	1196,93	1197,07			
3	Berat Dalam Air	1,5%	677,60	672,67	679,93	684,73	1184,67	gram	-	-
		2,0%	677,47	683,70	685,10	677,90	685,37			
		2,5%	689,63	689,97	687,37	684,53	681,40			
4	Density	1,5%	2,26	2,26	2,30	2,32	2,34	gr/cm3	-	-
		2,0%	2,27	2,29	2,31	2,30	2,31			
		2,5%	2,31	2,31	2,32	2,32	2,30			

(Sumber : Olahan data penulis)

Tabel 9. Lanjutan Hasil Pengujian Marshall

No.	Pengujian Marshall	Filler kaca	Kadar Aspal					Satuan	Spesifikasi	
			4,5%	5,0%	5,5%	6,0%	6,5%		Min	Max
5	VMA	1,5%	15,16	15,31	14,38	14,00	13,70	%	14	-
		2,0%	14,89	14,44	14,40	14,90	14,96			
		2,5%	13,39	13,71	13,84	14,44	15,47			
6	VFB	1,5%	41,76	48,87	60,88	71,22	81,97	%	65	-
		2,0%	46,10	56,06	64,40	69,83	77,63			
		2,5%	55,71	62,66	70,95	75,40	77,26			
7	VIM	1,5%	8,83	7,83	5,65	4,04	2,49	%	3	5
		2,0%	8,03	6,37	5,15	4,52	3,39			
		2,5%	5,95	5,12	4,08	3,56	3,53			
8	Stabilitas	1,5%	2629,84	3188,87	3130,54	3368,73	2731,93	kg	800	-
		2,0%	2765,95	2435,40	2357,62	2688,18	2513,18			
		2,5%	2518,04	2430,54	2775,68	2056,24	1963,88			
9	Flow	1,5%	3,10	3,97	2,92	3,26	3,90	mm	2	4
		2,0%	4,70	4,12	3,85	3,94	4,72			
		2,5%	5,09	4,22	5,61	2,87	3,41			
10	Marshall Quotient	1,5%	1192,44	809,71	1133,18	1032,24	585,82	kg/mm	250	-
		2,0%	734,29	639,48	733,14	1088,44	935,07			
		2,5%	643,63	737,73	538,42	727,39	600,15			

(Sumber : Olahan data penulis)

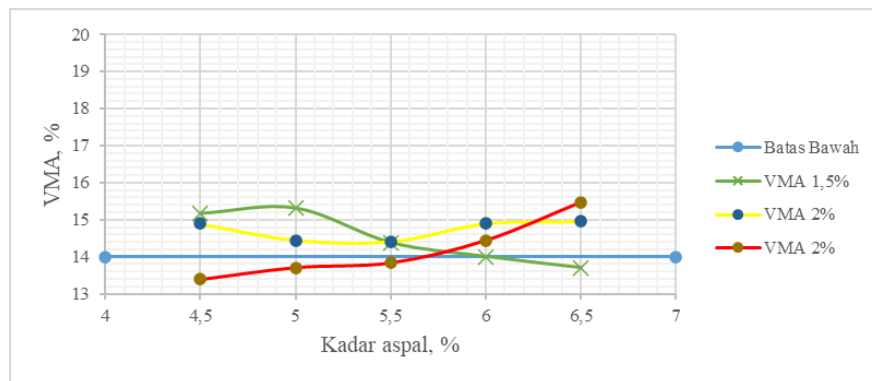
Tabel 10 diatas bertujuan untuk memudahkan dalam melihat hasil dari seluruh pengujian *Marshall* dengan masing-masing variasi kadar aspal dan variasi *filler* yang di lihat dalam parameter pengujian *Marshall* meliputi VMA, VFB, VIM, Stabilitas, *Flow* dan *Marshall Quotient* yang mengacu pada syarat Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 secara garis besar telah memenuhi.

3.6 Hubungan Parameter Marshall

Setelah seluruh hasil nilai pengujian *Marshall* yang diperoleh setiap variasi campuran *filler* serbuk kaca 1,5%, 2% dan 2,5% maka, diketahui grafik hubungan antara kadar aspal dengan parameter aspal yang ditinjau meliputi; (VMA), (VFB), (VIM), Stabilitas, (*Flow*), dan *Marshall quotient* (MQ).

Hubungan kadar aspal dengan VMA serbuk kaca

(*Void in Mineral Aggregate*) dipengaruhi meliputi kadar aspal, jumlah tumbukan dan gradasi agregat sehingga nilai persentase VMA merupakan hasil seberapa banyak rongga yang terisi udara maupun rongga kosong antar agregat dalam campuran setelah proses pemadatan dilakukan yang dinyatakan dalam volume total campuran.

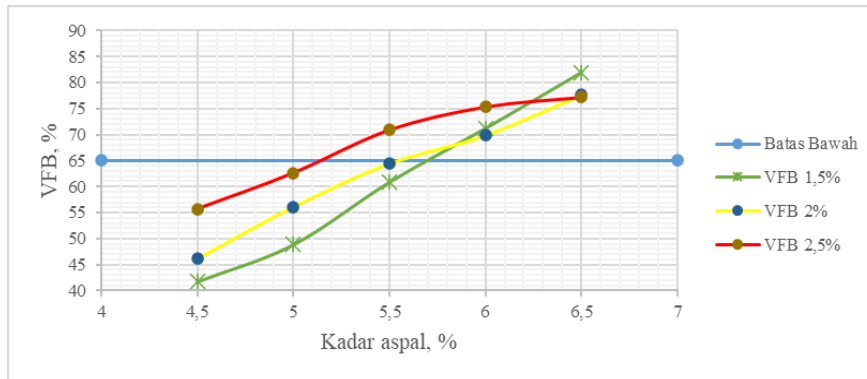


Gbr. 3. Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Serbuk Kaca dengan VMA

VMA pada kadar aspal 6,5% dengan *filler* 1,5% sebesar 13,70% dan kadar aspal (4,5%, 5% 5,5%) dengan *filler* 2,5% berurutan sebesar (13,39%, 13,71%, 13,71%) menunjukkan bahwa, hasil ini belum memenuhi syarat minimal VMA serta selebihnya hasil yang diperoleh dari nilai VMA telah memenuhi spesifikasi VMA minimal 14%. Dari ketiga Hubungan VMA campuran kadar aspal variasi *filler* serbuk kaca 1,5%, 2% dan 2,5% menunjukkan peningkatan jika semakin besar persentase penambahan kadar aspal dan *filler* serbuk kaca kedalam agregat campuran dan memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018.

Hubungan kadar aspal dengan VFB serbuk kaca

(*Void Filled with Bitument*) dari persentase volume yang melapisi agregat setelah proses pemadatan atau presentase ruang yang terisi aspal dalam campuran sehingga, nantinya campuran menjadi lebih kedap dari udara dan air jika nilai persentase VFB tinggi.

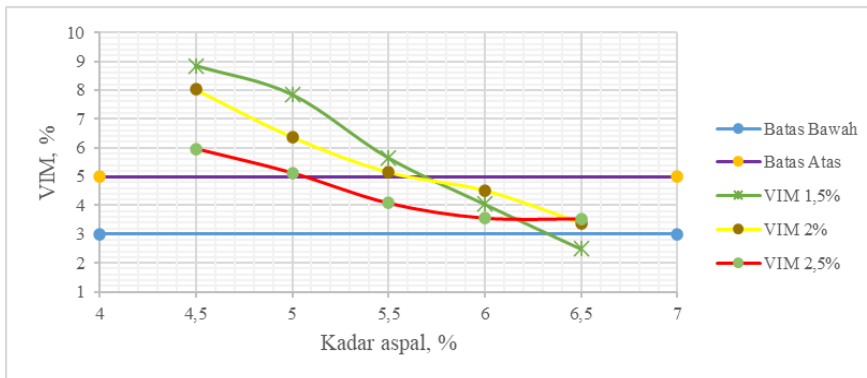


Gbr. 4. Grafik Hubungan Kadar Aspal *Filler* Serbuk Kaca dengan VFB

Hasil nilai VFB pada kadar aspal (4,5%, 5%, 5,5%) dengan *filler* (1,5%, 2%) berurutan sebesar (41,76%, 48,87%, 60,88%), (46,10%, 56,06%, 64,40%), dan kadar aspal (4,5%, 5%) dengan *filler* 2,5% sebesar (55,71%, 62,66%) menunjukkan bahwa, hasil ini belum memenuhi syarat minimal VFB serta selebihnya hasil yang diperoleh dari nilai VFB telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018 VFB minimal 65%.

Hubungan kadar aspal dengan VIM serbuk kaca

(*Void in Mix*) bertujuan untuk mengetahui Kemampuan kedap air dalam aspal dari seberapa besar rongga dalam agregat yang terselimuti aspal yang dipadatkan.

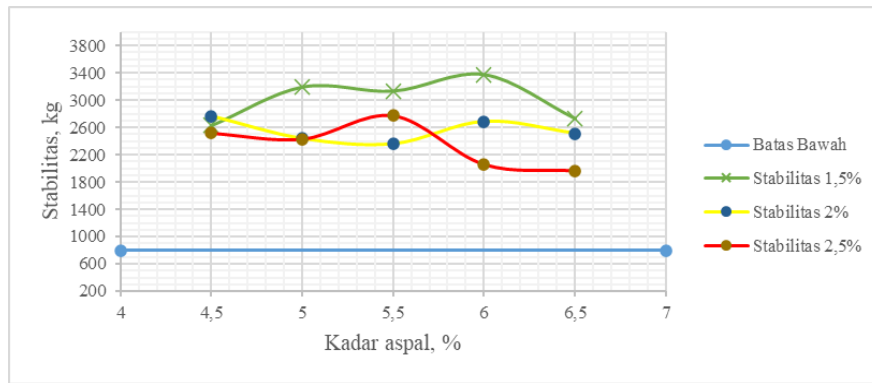


Gbr. 5. Grafik Hubungan Kadar Aspal *Filler* Serbuk Kaca dengan VIM

Hasil nilai VIM pada kadar aspal 6,5% dengan *filler* 1,5% sebesar 2,49% menunjukkan bahwa, hasil ini belum memenuhi syarat VIM minimal 3%. Hasil nilai VIM pada kadar aspal (4,5%, 5%, 5,5%) dengan *filler* (1,5%, 2%) berurutan sebesar (8,83%, 7,83%, 5,65%) dan (8,03%, 6,37%, 5,15%) lalu kadar aspal (4,5%, 5%) dengan *filler* 2,5% sebesar (5,95%, 5,12%) menunjukkan bahwa, hasil ini melebihi syarat nilai VIM maksimal 5% serta selebihnya hasil yang diperoleh nilai VIM telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018 VIM 3%-5%.

Hubungan kadar aspal dengan stabilitas serbuk kaca

Stabilitas ini yang nantinya sebagai penentuan untuk menilai kekuatan perkerasan dalam menopang beban lalu lintas tidak mengalami deformasi atau perubahan bentuk seperti lendutan, gelombang, alur ataupun *bleeding*.

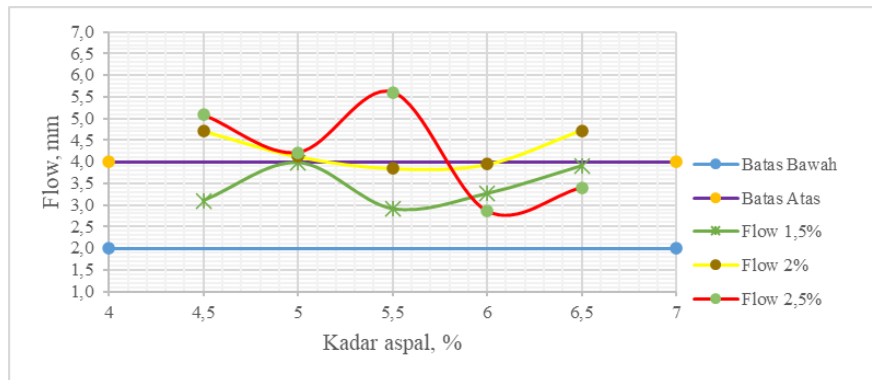


Gbr. 6. Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Serbuk Kaca dengan Stabilitas

Hasil nilai stabilitas menunjukkan penurunan apabila persentase penambahan kadar aspal dan filler serbuk kaca kedalam agregat campuran semakin besar. keseluruhan variasi kadar aspal 4,5% - 6,5% dengan variasi filler 1,5%, 2% dan 2,5% telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018 syarat minimal 800 kg.

Hubungan kadar aspal dengan Flow serbuk kaca

Nilai pelehan (flow) ini dilakukan secara bersamaan dengan nilai stabilitas dengan pengukuran besarnya deformasi yang terjadi akibat pembebanan sampai beban maksimum.

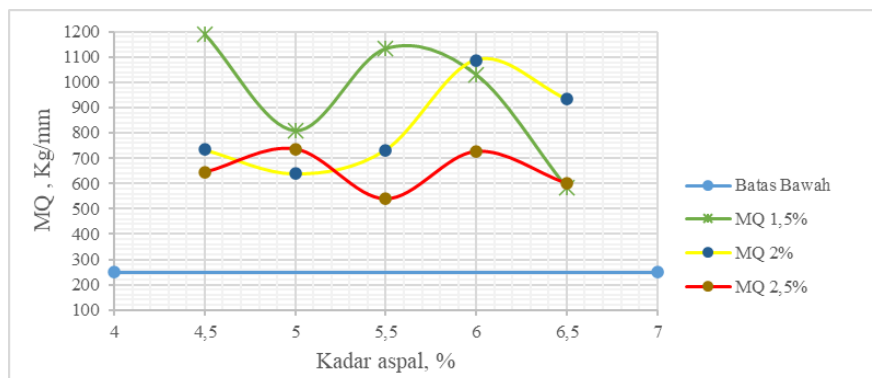


Gbr. 7. Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Serbuk Kaca dengan Flow

Hasil nilai flow kadar aspal (4,5%, 5% 6,5%) dengan filler 2% berurutan sebesar (4,7%, 4,12%, 4,72%) dan kadar aspal (4,5%, 5%, 5,5%) dengan filler 2,5% berurutan sebesar (5,09%, 4,22%, 5,61%) menunjukkan bahwa, hasil ini melebihi syarat nilai flow maksimal 4% serta selebihnya hasil yang diperoleh dari nilai flow telah memenuhi spesifikasi flow 2%-4%. menunjukkan penurunan jika, semakin besar persentase penambahan kadar aspal dan filler serbuk kaca kedalam agregat campuran dan seluruh campuran telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018.

Hubungan kadar aspal dengan Marshall Quotien serbuk kaca

Marshall Quotien merupakan hasil bagi dari perbandingan stabilitas dan kelelahan.



Gbr. 8. Grafik Hubungan Kadar Aspal Filler Serbuk Kaca dengan MQ

Hasil nilai Marshall Quotien keseluruhan variasi kadar aspal 4,5% - 6,5% dan variasi filler 1,5%, 2% dan 2,5% telah memenuhi syarat MQ minimal 250 kg. Dari ketiga variasi filler menunjukkan penurunan jika semakin

besar persentase penambahan kadar aspal dan *filler* serbuk kaca kedalam agregat campuran dan seluruh campuran telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2) Tahun 2018.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan penelitian untuk seluruh pengujian mendapatkan Hasil pengaruh karakteristik campuran aspal AC-BC menggunakan limbah serbuk kaca menjadi pengalih *filler* menggunakan metode *Marshall* melalui parameter karakteristik (VMA), (VFB), (VIM), Stabilitas, *Flow*, dan *Marshall Quotient* didapatkan hasil paling efisien pada variasi penggunaan *filler* 2,5% dan menggunakan kadar aspal sebesar 6,0% dengan nilai VMA sebesar 14,15%, nilai VFB sebesar 77,6%, nilai VIM sebesar 3,20%, nilai Stabilitas sebesar 2051,38 kg, nilai *flow* sebesar 2,14%, dan nilai *Marshall Quotient* sebesar 1065,54 kg. Seluruh parameter karakteristik yang diperoleh telah memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga (revisi 2) Tahun 2018.

Melalui hasil kesimpulan penulis dalam penelitian yang telah dilakukan maka, perlu adanya saran sebagai bentuk bila mana nantinya peneliti selanjutnya dapat menambahkan studi kasus sebagai perbandingan nyata dan menambahkan pembahasan mengenai Rencana Anggaran Biaya untuk mengetahui efisiensi penggunaan limbah serbuk kaca tersebut terhadap lapisan perkerasan aspal beton panas AC-BC.

5. REFERENCES

- Almira, D. R., Puspasari, N. P., & Saputra, N. (2022). Pengaruh Penggunaan Serbuk Kaca Terhadap Karakteristik Marshall Campuran HRS-WC. *Media Ilmiah Teknik Sipil*, 10, 78–84. <https://doi.org/10.33084/mits.v10i2.2996>
- Aulia, A. Z. W., Hartatik, N., Rizkiardi, A., & Prasetyo, Y. D. (2024). Pemanfaatan Limbah Produksi Bata Merah Ud. Bata Pres Mrh Sebagai Filler Pada Campuran AC-BC. 8, 1–8. <https://doi.org/10.36040/SONDIR.V8I1.6583>
- Cahyadi, A., & Hidayati. (2022). Penggunaan Serbuk Kaca dari Limbah Botol Kaca sebagai Filler Agregat Halus dalam Laston Lapis Antara (Ac-Bc) Asphalt. 13–20.
- Direktorat Jendral Bina Marga. (2020). *Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan*.
- Hartatik, N., Utami, G. S., & Rohmania, N. (2014). Karakteristik Campuran Beton Aspal (AC-WC) dengan Penambahan Abu Slag Baja Sebagai Bahan Pengganti Filler. In *Jurnal Teknik Sipil KERN* (Vol. 4, Issue 1).
- Juara, A., & Sukowiyono. (2018). Analisis Kerusakan Konstruksi Perkerasan Jalan Kota Wonosobo. *Teras Jurnal Teknik Sipil*, 8(2), 71–86.
- Khair, M., Indira, B. S., & Salsabila, R. (2023). Preparasi Silika Gel Dari Limbah Kaca Bening Dengan Bantuan Iradiasi Microwave. *CHEDS: Journal of Chemistry, Education, and Science*, 7(1). <https://doi.org/10.30743/cheds.v7i1.7130>
- Mufidah R. (2023). Pemanfaatan Limbah Batu Kapur Bukit Sekapuk Gresik Sebagai Filler Campuran Aspla Beton Lapisan AC-BC. *Tugas Akhir*.
- Shaw, D. E. (2000). The Use of Fly Ash in the Manufacture of Asphalt Shingles. *Proceedings of the Fourth International Symposium on Roofing Technology*, 113–118.
- Sita, T. (2020). Penggunaan Material Cold Mix Asphalt untuk Penanganan Penambalan Lubang. *Journal of Airport Engineering Technology (JAET)*, 1(1), 24–29. <https://doi.org/10.52989/jaet.v1i1.4>
- Standardisasi Nasional, B. (2012). *SNI 7619:2012 Metode-Uji Penentuan Persentase Butir Pecah Pada Agregat Kasar*.
- Tahir Dalimunthe, M. R., & Ardan, M. (2019). Analisa Karakteristik Campuran Aspal Beton Dengan Filler Yang Berbeda Terhadap Nilai Marshall. *Journal Of Civil Engineering, Building And Transportation*, 3(1), 19. <https://doi.org/10.31289/jcebt.v3i1.2458>