

Pengaruh Penambahan Asbuton LGA 50/30 pada Campuran AC-WC dengan Inovasi Limbah Styrofoam

Luthfiano Ikhsan Ramadhan, Tantin Pristyawati*, Rida Handiana Devi

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Veteran Bangun Nusantara

*Correspondence email: tantintsipil@gmail.com

Abstrak. Infrastruktur jalan di Indonesia membutuhkan 1,2 juta ton aspal setiap tahunnya, namun Pertamina hanya mampu memasok 600.000 ton. Kekurangan ini mengharuskan pemerintah dan pihak terkait mencari alternatif untuk memenuhi kebutuhan aspal nasional dan menjaga kualitas infrastruktur jalan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan Asbuton LGA 50/30 pada *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) dengan inovasi pemanfaatan limbah *styrofoam*. Penelitian ini dilakukan secara eksperimen dengan parameter karakteristik *marshall* seperti, VMA (*Void In Mineral Agregate*), VIM (*Void In Mix*), stabilitas, VFA (*Void Filled with Asphalt*), dan *Marshall Quotient* (MQ). Hasil penelitian dari 5 variasi campuran limbah *styrofoam* yang digunakan dengan nilai variasi 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10%. Untuk nilai variasi dengan asbuton 8% yang memiliki stabilitas tertinggi terdapat pada variasi *styrofoam* 10% dengan nilai stabilitas sebesar 2032,16 kg, dengan nilai VMA 16,63%, nilai VFA 78,28%, nilai VIM 3,61%, nilai *flow* 2,45 mm, dan nilai MQ sebesar 830,33 kg/mm. Untuk nilai variasi dengan asbuton 9% yang memiliki stabilitas tertinggi terdapat pada variasi 2% dengan nilai stabilitas sebesar 1882,35 kg, dengan nilai VMA 16,21%, nilai VFA 80,17%, nilai VIM 3,24%, nilai *flow* 2,57 mm, dan nilai MQ sebesar 735,72 kg/mm. Kadar variasi 10% dan 2% dinyatakan paling efektif untuk pencampuran aspal AC-WC, karena nilai-nilai dari *marshall* memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018, sehingga variasi bahan tambah limbah *styrofoam* tersebut yang paling optimal digunakan sebagai bahan campuran aspal AC-WC.

Kata Kunci: Asbuton LGA 50/30, AC-WC, Limbah *Styrofoam*, Karakteristik *Marshall*, Kadar Aspal Optimum

Abstract. Indonesia's road infrastructure requires 1.2 million tons of asphalt annually, but Pertamina can only supply 600,000 tons. This deficit compels the government and related stakeholders to seek alternatives to meet national asphalt needs and maintain road quality. This study aims to analyze the effects of adding Asbuton LGA 50/30 to *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) with an innovative use of *styrofoam* waste. Experimental research was conducted to evaluate *Marshall* characteristics, including VMA (*Void in Mineral Aggregate*), VIM (*Void in Mix*), stability, VFA (*Void Filled with Asphalt*), and *Marshall Quotient* (MQ). Five *styrofoam* waste mix variations were tested at 2%, 4%, 6%, 8%, and 10% levels. For the 8% Asbuton mix, the highest stability was observed with 10% *styrofoam*, yielding a stability value of 2032.16 kg, VMA of 16.63%, VFA of 78.28%, VIM of 3.61%, flow of 2.45 mm, and MQ of 830.33 kg/mm. For the 9% Asbuton mix, the highest stability was achieved with 2% *styrofoam*, resulting in a stability value of 1882.35 kg, VMA of 16.21%, VFA of 80.17%, VIM of 3.24%, flow of 2.57 mm, and MQ of 735.72 kg/mm. The 10% and 2% *styrofoam* variations proved to be the most effective for AC-WC asphalt mixtures, as their *Marshall* values met the 2018 Bina Marga General Specifications, indicating that these *styrofoam* waste additions are optimal for AC-WC asphalt mixtures.

Keywords: Asbuton LGA 50/30, AC-WC, *Styrofoam* Waste, *Marshall* Characteristics, Optimum Asphalt Content

PENDAHULUAN

Infrastruktur jalan adalah salah satu infrastruktur yang meningkatkan perekonomian. Pada tahun 2015 hingga 2020, dilakukan pembangunan jalan nasional sepanjang 4.119 km. Pembangunan infrastruktur jalan membutuhkan rata-rata 1,2 juta ton aspal per tahun (Pratama et al., 2022). Dalam kondisi ini, kebutuhan aspal dalam negeri sangat tinggi. Pasokan aspal dalam negeri masih terbatas sehingga Indonesia sangat bergantung pada aspal impor. Dari kebutuhan tahunan sebesar 1,2 juta ton, Pertamina hanya mampu memasok 600.000 ton, sementara sisanya perlu diimpor dari negara lain seperti China, Korea Selatan, Singapura, dan Timur Tengah (Kamp & Havranek, 2019). Indonesia memiliki aspal alam yang belum banyak digunakan, sehingga pemerintah saat ini sedang menggalakkan penggunaan aspal buton untuk memanfaatkan sumber daya alam yang ada secara optimal. Pemanfaatan sumber daya alam ini diharapkan dapat melengkapi kebutuhan aspal untuk pembangunan jalan raya.

Untuk meminimalisir penggunaan aspal minyak impor dalam pembuatan jalan, maka digunakan aspal modifikasi. Aspal modifikasi terdiri dari campuran material lain yang digunakan sebagai material penyusun aspal. Pencampuran material tersebut dapat mengurangi penggunaan aspal (Adly, 2016). Ada beberapa material yang dapat dimanfaatkan sebagai material pencampur aspal yaitu salah satunya dengan Asbuton dan limbah *styrofoam*.

Lapisan AC-WC adalah lapisan yang berada di bagian paling atas dalam struktur perkerasan aspal. Lapisan permukaan ini harus mampu menahan dan mendistribusikan semua jenis beban yang bekerja, seperti muatan kendaraan, gaya rem, dan benturan roda, ke lapisan di bawahnya. Kondisi iklim tropis dan peningkatan jumlah beban kendaraan sering menjadi penyebab utama terjadinya deformasi dan retak pada lapisan *asphalt concrete-wearing course* (AC-WC) (Kafabihi et al., 2020).

Asbuton LGA B50/30 adalah jenis aspal buton yang diproduksi untuk menghasilkan produk olahan berbutir dengan nilai penetrasi 50 dan kadar aspal 30%. Mengingat bahan bakunya berasal dari tambang alam yang tidak seragam, nilai penetrasi dan kadar aspalnya dibuat dengan spesifikasi teknis tertentu (Hermadi, 2023). Menurut Nyoman (2018) karakteristik campuran dengan asbuton murni mempunyai kinerja yang lebih baik ditinjau dari nilai stabilitas Marshall yang lebih tinggi yaitu 1871 kg dibanding 1100 kg pada campuran AC-WC normal. Nilai kadar aspal optimum (KAO) pada campuran beraspal panas AC-WC dengan asbuton 4,25% menunjukkan bahwa campuran asbuton mengurangi penggunaan aspal minyak. *Lawele Granular Asphalt* (LGA) merupakan salah satu produk aspal buton (Asbuton) yang fungsi dan kegunaannya merupakan sebagai bahan pengikat. Asbuton *Lawele* berfungsi sebagai pengganti sebagian aspal minyak karena kandungan bitumennya tinggi dan lunak untuk campuran beraspal baik, *Hot Mix*, *Warm Mix* maupun *Cold Mix* dicampur bersama aspal minyak maupun bahan peremaja/*modifier* (Nur, 2019). Untuk digunakan sebagai bahan perkerasan, Aspal *Lawele Granular* harus memenuhi beberapa persyaratan. Sifat-sifat Asbuton yang harus dipenuhi meliputi kadar bitumen, ukuran butiran, kadar air yang terkandung, dan yang paling penting, penetrasi Asbuton itu sendiri. Tipe-tipe Asbuton yang digunakan bervariasi, salah satunya adalah LGA (*Lawele Granular Asphalt*) tipe B 50/30. Lapisan padat yang awet dapat berupa lapis perata, lapis fondasi, lapis antara, atau lapis aus campuran beraspal panas yang terdiri dari agregat dan aspal. Asbuton Pra-campur atau Aspal Pen.60-70 khusus menggunakan Asbuton Butir B 50/30 (kelas penetrasi 50 dengan kadar bitumen minimal 20%) yang dicampur secara panas (Sumarwoto, 2018). Penggunaan asbuton LGA tipe 50/30 tersebut bertujuan untuk memanfaatkan potensi aspal alam dalam negeri yang sebenarnya dapat dimanfaatkan dengan sebaik-baiknya untuk kegiatan pembangunan jalan di Indonesia. Asbuton ditemukan oleh geolog asal Belanda WH Hetzel Asbuton pada tahun 1924, dan digunakan pertama kali dalam pengaspalan jalan dua tahun kemudian. Aspal alam di Pulau Buton totalnya tidak kurang dari 750 juta ton, ini berarti 80% cadangan aspal alam di dunia terdapat di Pulau Buton, sisanya berada di Trinidad, Tobago, Meksiko, dan Kanada (Adnany, 2019).

Styrofoam adalah sebuah polimer dengan monomer stirena, sebuah hidrokarbon cair yang dibuat secara komersial dari minyak bumi. Menurut Sulianti et al., (2019) *styrofoam* dapat membentuk bahan pengikat baru pada aspal karena mempunyai sifat termoplastik, bila dipanaskan akan melunak dan mengeras bila didinginkan. Sebetulnya bahan ini dipakai untuk pengamanan barang non-makanan contohnya barang-barang elektronik agar tahan dari benturan, tetapi pada saat ini *Styrofoam* seringkali dipakai sebagai kotak pembungkus makan atau minuman (Alhidayat et al., 2021). *Styrofoam* banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari namun jarang dimanfaatkan. Hal ini membuat *styrofoam* memiliki potensi menjadi material pencampur yang digunakan untuk membuat aspal modifikasi. Dengan demikian, penggunaan *styrofoam* dapat dimanfaatkan sebagai campuran aspal sehingga dapat mengurangi jumlah limbah *styrofoam*.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka penulis mengambil judul penelitian, "Pengaruh Penambahan Asbuton LGA 50/30 pada Campuran AC-WC dengan Inovasi Limbah *Styrofoam*". Dalam penelitian ini dilakukan pencampuran aspal pen 60/70 dengan bahan tambah asbuton LGA 50/30 dan limbah *styrofoam*. Asbuton LGA dan *styrofoam* dapat ditambahkan ke dalam campuran aspal dengan harapan akan memberikan perubahan karakteristik campuran yang lebih baik dan memenuhi spesifikasi.

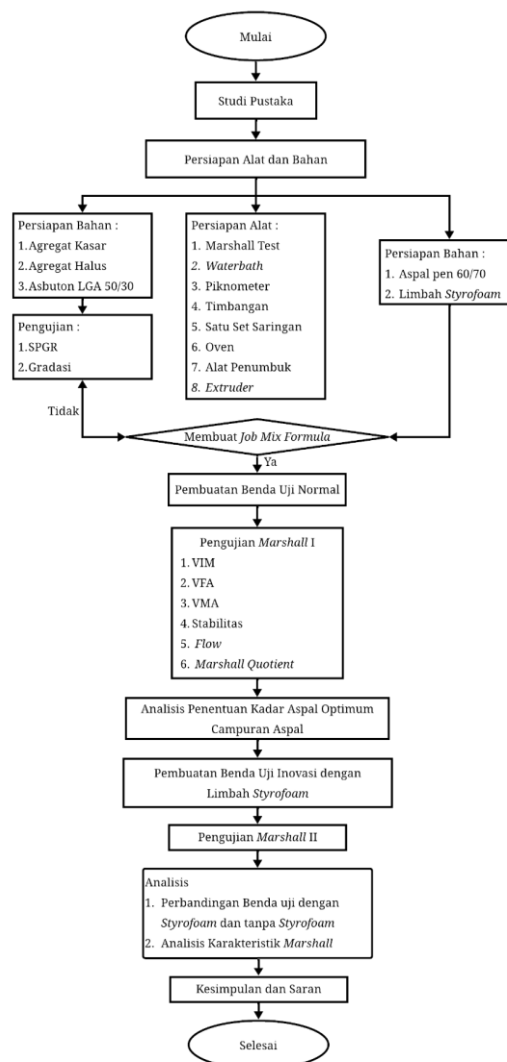
Pada penelitian ini yang ditinjau adalah pengaruh penambahan asbuton LGA 50/30 pada campuran AC-WC dengan inovasi limbah *styrofoam* terhadap karakteristik *marshall*. Penelitian ini

menggunakan campuran aspal beton lapis pengikat (AC-WC) spesifikasi Bina Marga 2018 yang di uji dengan metode *Marshall* dengan beberapa variasi perbandingan benda uji.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan asbuton LGA 50/30 pada campuran AC-WC dengan inovasi limbah *styrofoam* terhadap karakteristik *marshall* dan untuk mengetahui perbandingan asbuton tanpa *styrofoam* dan asbuton dengan *styrofoam*.

METODE

Metode penelitian dilakukan secara eksperimen yang dilaksanakan dengan pembuatan benda uji berdasarkan Spesifikasi Bina Marga tahun 2018 revisi 2. Standar pengujian mengacu pada standar yang dikeluarkan Bina Marga yang berupa ASTM D 1559-76 atau AASHTO T- 245-90. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Veteran Bangun Nusantara. Agregat kasar yang digunakan berupa material 1-2 dan 0-5 serta agregat halus berupa abu batu yang diperoleh dari PT. Wira Bhakti Mulia Boyolali. Bahan inovasi menggunakan limbah *styrofoam* dari bekas makanan, Aspal penetrasi 60/70 dan Aspal Buton (LGA 50/30) digunakan sebagai bahan pengikat. Uji *marshall* bertujuan untuk menentukan nilai stabilitas dan kelelahan (*flow*) benda uji. Dalam pelaksanaannya alat uji *marshall* dilengkapi dengan arloji untuk pembacaan hasil pengukuran stabilitas dan kelelahan. Hasil pengukuran stabilitas dan kelelahan harus dikalikan dengan faktor kalibrasi, pada penelitian ini nilai faktor kalibrasi sebesar 19,54 kg. Sesuai dengan Spesifikasi Khusus Interin Campuran Beraspal Panas Menggunakan Asbuton, nilai minimum stabilitas campuran AC-WC Asbuton sebesar 800 kg. Langkah penelitian dijelaskan dalam bentuk bagan alir pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Penelitian

Pengujian Marshall

Pengujian *marshall* (*Marshall Test*) merupakan pengujian untuk menentukan kinerja beton aspal, yang pertama kali dikembangkan oleh Bruce *Marshall* dan di lanjutkan oleh *U.S. Corps Engineer* serta distandarisasi oleh ASTM ataupun AASHTO melalui beberapa modifikasi, yaitu ASTM D 1559-76 atau AASHTO T- 245-90.

Menurut Kasriadi, (2020) karakteristik *Marshall* secara umum dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. *Void In Mix* (VIM) adalah ruang udara diantara partikel agregat yang terselimuti aspal. VIM dinyatakan dalam persentase terhadap volume beton aspal padat. Volume rongga udara dalam campuran dapat ditentukan dengan rumus berikut :

$$VIM = \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \times 100$$

Keterangan :

G_{mm} : Berat jenis campuran maksimum setelah pemadatan (gr/cc)

G_{mb} : Berat jenis bulk campuran setelah pemadatan (gr/cc)

VIM : Rongga udara dalam campuran (%)

2. *Void In The Mineral Agregat* (VMA) adalah persentase nilai rongga yang terdapat di dalam agregat. Nilai pada VMA sesuai dengan Spesifikasi Bina Marga 2018 minimal 14 % yang dapat dihitung melalui rumus berikut :

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb} - P_s}{G_{sb}}$$

Keterangan :

VMA : Rongga udara pada mineral agregat (%)

G_{mb} : Berat jenis bulk campuran setelah pemadatan *(gr/cc)

G_{sb} : Berat jenis bulk dari total agregat (gr/cc)

P_s : Persentase kadar agregat terhadap berat total campuran (%)

3. *Void Filled Asphalt* (VFA) adalah nilai persentase rongga pada campuran yang terisi aspal setelah mengalami pemadatan. Syarat nilai VFA adalah 65 % yang dapat ditentukan menggunakan rumus:

$$VFA = \frac{(VMA - VIM) \times 100}{VMA}$$

Keterangan :

VFA : Persentase rongga terisi aspal (%)

VMA : Persentase rongga pada agregat (%)

VIM : Persentase rongga pada campuran beraspal (%)

4. Stabilitas merupakan nilai yang diperoleh dari pembacaan arloji (dial) stabilitas pada saat pengujian dengan alat uji *marshall*. Kemudian dihitung dengan mencocokkan angka kalibrasi pada *proving ring* dengan menggunakan satuan lbs ataupun kg dan dikoreksi dengan faktor koreksi tebal benda uji setelah pemadatan. Nilai stabilitas diketahui dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$S = p \times q$$

Keterangan :

S : Nilai Stabilitas (kg)

p : Pembacaan alat x kalibrasi

q : Angka koreksi tebal benda uji

5. Kelelahan (*flow*) merupakan tingkat kelelahan campuran beraspal yang diketahui dari pembacaan arloji (dial) pada saat pengujian dengan alat uji *marshall* dalam keadaan suhu ekstrim 60 °C selama 30 menit. Nilai *flow* diperoleh melalui pembacaan dial atau arloji pada alat *Marshall*. Nilai *flow* dinyatakan dalam mm.

6. *Marshall Quotient* adalah hasil bagi dari nilai stabilitas dengan nilai *flow*, yang digunakan sebagai pendekatan terhadap tingkat kekakuan campuran. Nilai MQ dinyatakan dalam kg/mm. Sifat *Marshall* tersebut dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut :

$$MQ = \frac{S}{F}$$

Keterangan :

MQ : Nilai *Marshall Quotient* (kg/mm)

S : Nilai Stabilitas (kg)

F : Nilai Kelelahan (*Flow*)

HASIL

Pengujian *Specific Gravity and Absorption* merupakan pengujian untuk menentukan nilai berat jenis bulk, berat jenis kering permukaan jenuh (*specific gravity*), berat jenis semu (*apparent specific gravity*) dan penyerapan (*absorption*) agregat halus dan agregat kasar. Pengujian berdasarkan SNI 03-1969-2008 untuk agregat kasar dan agregat halus. Adapun hasil pengujian *specific gravity and absorption* dijelaskan pada Tabel 1 – 3.

Tabel 1. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Berat = 2507,1 gram						
Saringan		Besaran	Spek	Referensi		
Bk (Berat benda uji kering oven (gram))	=	2476,7				
Bj (Berat benda uji SSD (gram))	=	2502,5				
Ba (Berat benda uji dalam air (gram))	=	1600,9				
(<i>Bulk Specific Gravity</i>)	=	$\frac{Bk}{Bj - Ba}$	=	2,75	Min 2,5 gr/cm ³	SNI 1969 : 2008
(<i>Saturated Surface Dry</i>)	=	$\frac{Bj}{Bj - Ba}$	=	2,78	Min 2,5 gr/cm ³	
(<i>Apparent</i>)	=	$\frac{Bk}{Bk - Ba}$	=	2,83	Min 2,5 gr/cm ³	
Penyerapan	=	$\frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100\%$	=	1,04 %	Maks 3%	

Sumber : Hasil Analisis 2024

Tabel 2. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Medium

Berat = 1507,8 gram						
Saringan		Besaran	Spek	Referensi		
Bk (Berat benda uji kering oven (gram))	=	1486,4				
Bj (Berat benda uji SSD (gram))	=	1501,9				
Ba (Berat benda uji dalam air (gram))	=	953,5				
(<i>Bulk Specific Gravity</i>)	=	$\frac{Bk}{Bj - Ba}$	=	2,71	Min 2,5 gr/cm ³	
(<i>Saturated Surface Dry</i>)	=	$\frac{Bj}{Bj - Ba}$	=	2,74	Min 2,5 gr/cm ³	SNI 1969 : 2008
(<i>Apparent</i>)	=	$\frac{Bk}{Bk - Ba}$	=	2,79	Min 2,5 gr/cm ³	
Penyerapan	=	$\frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100\%$	=	1,04 %	Maks 3%	

Sumber : Hasil Analisis 2024

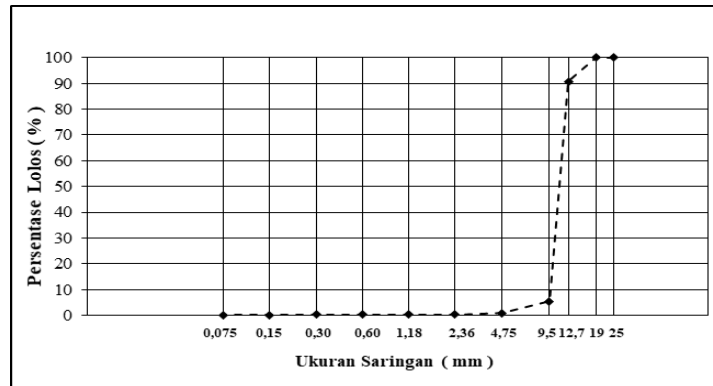
Tabel 3. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Berat = 500 gram						
Saringan		Besaran	Spek	Referensi		
A (Berat benda uji SSD (gram))	=	500				
Bk (Berat benda uji kering oven (gram))	=	485				
B (Berat Piknometer diisi air (gram))	=	1294,5				
Bt (Berat piknometer + benda uji + air (gram))	=	1610,6				
(<i>Bulk Specific Gravity</i>)	=	$\frac{Bk}{B + A - Bt}$	=	2,64	Min 2,5 gr/cm ³	
(<i>Saturated Surface Dry</i>)	=	$\frac{A}{B + A - Bt}$	=	2,72	Min 2,5 gr/cm ³	SNI 1969 : 2008
(<i>Apparent</i>)	=	$\frac{Bk}{B + Bk - Bt}$	=	2,87	Min 2,5 gr/cm ³	
Penyerapan	=	$\frac{A - B}{B} \times 100\%$	=	3,09 %	Maks 3%	

Sumber : Hasil Analisis 2024

Berdasarkan hasil dari pengujian analisis saringan untuk agregat kasar, agregat medium, agregat halus dan asbuton, dimana pengujian dilakukan berdasarkan SNI 03-1969-2008 untuk

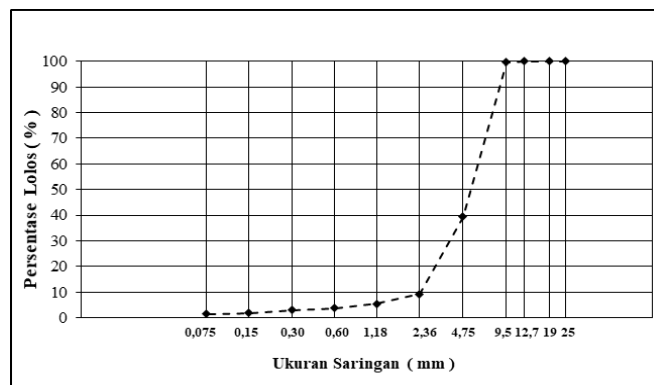
mengetahui gradasi agregat dalam desain formula pencampuran. Tahapan uji analisis saringan dibagi menjadi beberapa tahap yaitu :



Gambar 2. Grafik Hasil Pengujian Agregat Kasar

Sumber : Hasil Analisis 2024

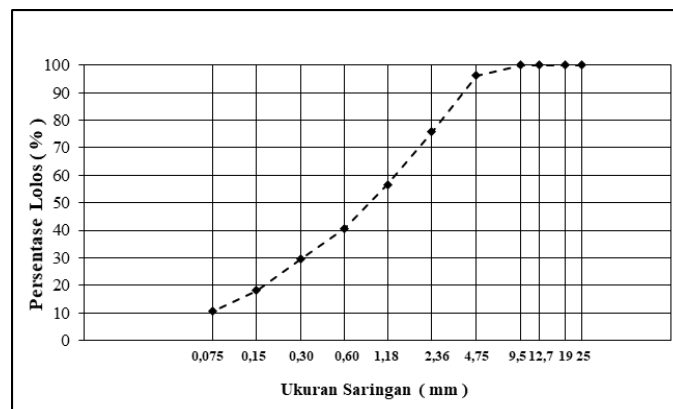
Hasil dari analisis saringan agregat kasar menunjukkan agregat yang lolos terdapat pada saringan ukuran 25 mm sampai 9,5 mm dan tertahan pada saringan 4,75 mm sampai ukuran saringan 0,075 mm.



Gambar 3. Grafik Hasil Pengujian Agregat Medium

Sumber : Hasil Analisis 2024

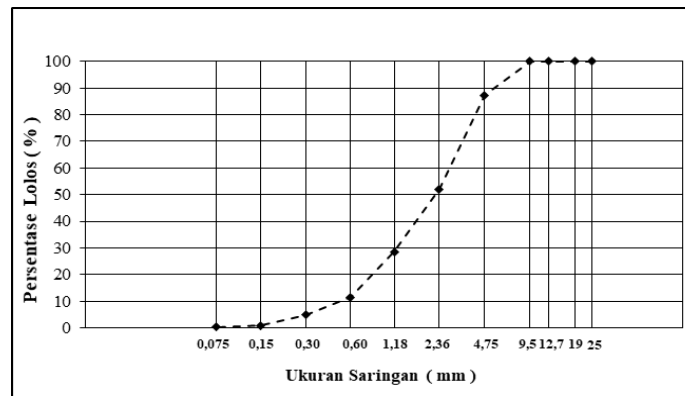
Pada gambar 3 menunjukkan jika hasil analisis saringan agregat medium lolos pada saringan ukuran 25 mm sampai ukuran 9,5 mm; dan tertahan pada ukuran saringan 4,76 mm sampai ukuran saringan 0,075 mm.



Gambar 4. Grafik Hasil Pengujian Agregat Halus

Sumber : Hasil Analisis 2024

Pada gambar 4 menunjukkan jika hasil analisis saringan agregat halus lolos pada saringan ukuran 25 mm sampai ukuran 4,75 mm; dan tertahan pada ukuran saringan 2,36 mm sampai ukuran saringan 0,075 mm.



Gambar 5. Grafik Hasil Pengujian Asbuton

Sumber : Hasil Analisis 2024

Setelah dilakukan pengujian analisis saringan didapatkan hasil analisis saringan asbuton lolos pada saringan ukuran 25 mm sampai ukuran 2,36 mm; dan tertahan pada ukuran saringan 1,18 mm sampai ukuran saringan 0,075 mm dapat dilihat pada Gambar 5 diatas.

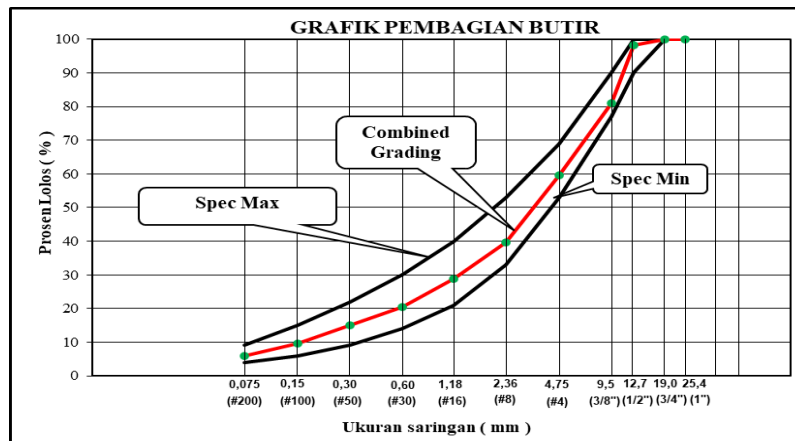
Perencanaan campuran aspal AC-WC didasari pada hasil analisis saringan. Dari grafik kumulatif hasil analisis saringan dapat ditentukan jumlah persentase masing-masing fraksi terhadap berat total seluruh agregat. Setelah persentase berat masing-masing ukuran, untuk selanjutnya dikontrol jumlah persen lolos terhadap spesifikasi yang diminta. Jika gradasi campuran sudah memenuhi spesifikasi yang diminta, maka selanjutnya ditentukan berat masing-masing ukuran dan berat aspal untuk membuat benda uji.

Pengujian gradasi agregat dilakukan untuk mengetahui komposisi agregat yang digunakan dalam campuran beraspal. Persentase lolos saringan pada pengujian gradasi agregat diatur dalam Spesifikasi Umum 2018 revisi 2. Tabel 4 menjelaskan gradasi gabungan agregat yang digunakan dalam campuran aspal AC-WC dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4. Hasil Analisis Saringan *Combined Grading*

Uraian	Ukuran Saringan											
	1"	3/4"	1/2"	3/8"	# 4	# 8	# 16	# 30	# 50	#100	#200	
Data Gradasi												
Agregat Kasar	100	100	100	100	96,14	75,78	56,68	40,72	29,50	18,10	10,56	
Agregat Medium	100	100	100	99,59	39,33	9,33	5,55	3,74	3,02	1,95	1,41	
Agregat Halus	100	100	90,65	5,52	0,86	0,33	0,29	0,28	0,26	0,22	0,13	
Asbuton	100	100	100	100	87,31	52,08	28,57	11,54	4,95	0,99	0,41	
Filler	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	97	
Kombinasi Agregat												
Agregat Kasar 20%	20	20	18,13	1,10	0,17	0,07	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	
Agregat 30%	30	30	30	29,88	11,80	2,80	1,66	1,12	0,91	0,59	0,42	
Agregat Halus 43,4%	43,4	43,4	43,4	43,4	41,72	32,89	24,60	17,67	12,80	7,85	4,58	
Asbuton 5,6%	5,60	5,60	5,60	5,60	4,89	2,92	1,60	0,65	0,28	0,06	0,02	
Filler 1%	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,97	
Total	100%	100	100	98,13	80,98	59,58	39,67	28,92	20,50	15,04	9,54	6,03
Campuran												
Spesifikasi AC-WC												
Min	100	100	90	77	53	33	21	14	9	6	4	
Maks	100	100	100	90	69	53	40	30	22	15	9	
Keterangan	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	

Sumber : Hasil Analisis 2024



Gambar 6. Grafik pembagian butir agregat

Sumber : Hasil Analisis 2024

Hasil gradasi agregat kasar, agregat medium, agregat halus, asbuton dan *filler*, didapatkan persentase agregat yang digunakan pada campuran beraspal adalah agregat kasar 20%, agregat medium 30%, agregat halus 43,4%, asbuton 5,6% dan *filler* 1%. Hasil gradasi sampai mendapatkan proporsi agregat yang digunakan dalam campuran kemudian dimasukkan kedalam rumus untuk mendapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO).

Berdasarkan pengujian pembagian butir agregat dilakukan perhitungan perkiraan kadar aspal optimum secara teori (Pb) berdasarkan peraturan Bina Marga dengan rumus berikut :

$$\begin{aligned}
 Pb &= (0,035 \times CA) + (0,045 \times FA) + (0,180 \times FF) + K \\
 &= (0,035 \times 60,33) + (0,045 \times 33,64) + (0,180 \times 6,03) + 1 \\
 &= 2,112 + 1,514 + 1,085 + 1 \\
 &= 5,72 \%
 \end{aligned}$$

Perhitungan KAO yang didapatkan adalah 5,72%. untuk mendapatkan KAO yang tepat, maka perkiraan KAO yang didapatkan dari hasil perhitungan dibulatkan menjadi 5,7% dan dibuatkan lagi KAO dengan selisih 0.5% dua dibawah 5,7% dan 2 diatasnya. Maka, KAO yang digunakan untuk membuat sampel normal adalah 4,7%; 5,2%; 5,7%; 6,2%. Dilakukan pembuatan benda uji dengan masing-masing variasi berjumlah tiga briket untuk mendapatkan kadar aspal optimum yang akan dipakai dalam campuran aspal inovasi pada Tabel 5 dan 6.

Tabel 5. Komposisi Masing-masing Agregat dengan Asbuton 8%

Ukuran Saringan	Persentase	a	b	c	d	e
Kadar Aspal (%)		4,7%	5,2%	5,7%	6,2%	6,7%
ASTM	mm	1041,37	1035,91	1030,45	1024,98	1019,52
1"	25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4"	19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1/2"	12,7	1,87	19,48	19,37	19,27	19,07
3/8"	9,5	17,15	178,60	177,66	176,72	175,79
#4	4,75	21,40	222,80	221,63	220,47	219,30
#8	2,36	19,92	207,40	206,31	205,22	204,14
#16	1,18	10,75	111,90	111,32	110,73	110,14
#30	0,6	8,43	87,74	87,28	86,82	86,36
#50	0,3	5,46	56,87	56,57	56,27	55,97
#100	0,15	5,50	57,25	56,95	56,65	56,35
#200	0,075	9,54	99,33	98,81	98,29	97,77
Berat Aspal		56,64	62,64	68,64	74,64	80,64
Filler		11,43	11,37	11,31	11,25	11,19
Asbuton		90,55	90,08	89,60	89,13	88,65
Berat Total		1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

Sumber: Hasil Analisis 2024

Tabel 6. Komposisi Masing-masing Agregat dengan Asbuton 9%

Ukuran Saringan	Persentase	Kadar Aspal (%)	a	b	c	d	e
			4,7%	5,2%	5,7%	6,2%	6,7%
ASTM	mm		1030,06	1024,65	1019,24	1013,84	1008,43
1"	25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4"	19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1/2"	12,7	1,87	19,26	19,16	19,06	18,96	18,86
3/8"	9,5	17,15	176,66	175,73	174,80	173,88	172,95
#4	4,75	21,40	220,38	219,23	218,07	216,91	215,76
#8	2,36	19,92	205,15	204,07	202,99	201,92	200,84
#16	1,18	10,75	110,69	110,11	109,53	108,95	108,36
#30	0,6	8,43	86,79	86,33	85,88	85,42	84,97
#50	0,3	5,46	56,25	55,95	55,66	55,36	55,07
#100	0,15	5,50	56,63	56,33	56,04	55,74	55,44
#200	0,075	9,54	98,25	97,74	97,22	96,70	96,19
Berat Aspal			56,64	62,64	68,64	74,64	80,64
Filler			11,43	11,37	11,31	11,25	11,19
Asbuton			101,87	101,34	100,80	100,27	99,74
Berat Total			1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

Sumber : Hasil Analisis 2024

Sesuai Tabel 7 dan 8, diperoleh hasil pengujian karakteristik *marshall* untuk mencari kadar asbuton optimum yang akan digunakan sebagai acuan dalam pembuatan campuran beraspal AC-WC dengan asbuton Asbuton 8% dan 9% Inovasi. Berikut hasil keseluruhan pengujian dapat dilihat dibawah ini:

Tabel 7. Hasil Pengujian Marshall Asbuton 8%

% kadar aspal	BJ maks camp (gr/cc)	BJ. Bulk Camp (gr/cc)	% VIM	% VMA	% VFA	Stabilitas (Kg)	Flow	MQ
4,7	2,480	2,357	4,97	16,078	69,137	1660,90	2,22	753,22
5,2	2,462	2,362	4,05	16,323	75,209	1478,53	3,23	496,71
5,7	2,444	2,364	3,27	16,700	80,435	1354,77	3,53	385,83
6,2	2,426	2,369	2,35	16,957	86,158	1309,18	4,23	312,45
6,7	2,409	2,371	1,60	17,363	90,873	1276,61	4,46	289,99
BATASAN			3,0 - 5,0	min 15	min 65	min 800	2,0 - 4,0	min 250

Sumber : Hasil Analisis 2024

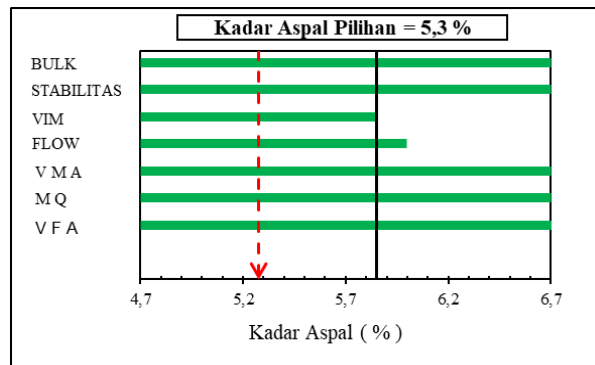
Tabel 8. Hasil Pengujian Marshall Asbuton 9%

% kadar aspal	BJ maks camp (gr/cc)	BJ. Bulk Camp (gr/cc)	% VIM	% VMA	% VFA	Stabilitas (Kg)	Flow	MQ
4,7	2,480	2,362	4,78	15,907	69,966	1485,04	2,45	607,94
5,2	2,462	2,367	3,87	16,166	76,095	1537,15	2,86	537,60
5,7	2,444	2,369	3,07	16,526	81,542	1582,74	3,44	462,26
6,2	2,426	2,373	2,20	16,829	86,946	1628,33	3,86	423,37
6,7	2,409	2,376	1,37	17,175	92,010	1673,93	4,54	370,84
BATASAN			3,0 - 5,0	min 15	min 65	min 800	2,0 - 4,0	min 250

Sumber : Hasil Analisis 2024

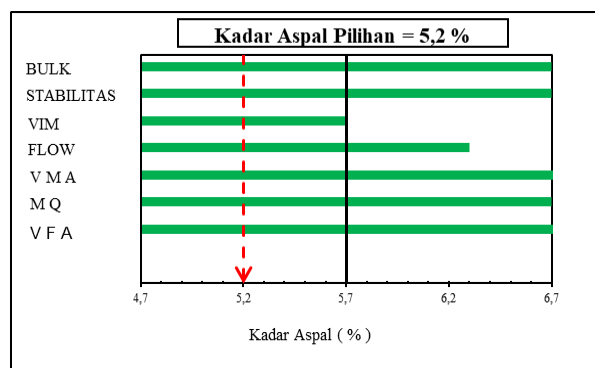
Dari hasil analisis pengujian *marshall* pada Tabel 7 dan 8, dapat dijelaskan bahwa pada asbuton 8% dan 9% semakin bertambahnya kadar aspal nilai BJ bulk campuran mengalami kenaikan. Pada campuran aspal dengan asbuton 8% dan 9% semakin bertambahnya kadar aspal dapat menurunkan nilai VIM, dan dapat menaikkan nilai VMA dan VFA. Nilai stabilitas pada asbuton 8% mengalami penurunan semakin bertambahnya kadar aspal, sedangkan pada asbuton 9% nilai stabilitas mengalami kenaikan. Penurunan stabilitas pada asbuton 8% dapat meningkatkan nilai *flow* dan dapat menurunkan

nilai MQ. Sedangkan peningkatan stabilitas pada asbuton 9% dapat menurunkan nilai *flow* dan dapat meningkatkan nilai MQ.



Gambar 7. Grafik Penentuan KAO Asbuton 8%

Sumber : Hasil Analisis 2024



Gambar 8. Grafik Penentuan KAO Asbuton 9%

Sumber : Hasil Analisis 2024

Gambar 7 dan 8 hasil pengujian karakteristik *marshall* dengan variasi kadar aspal seperti pada data diatas dilakukan pembuatan benda uji sebanyak 15 buah benda uji, pada asbuton 8% mendapatkan hasil kadar aspal optimum 5,3 % sedangkan pada asbuton 9% mendapatkan hasil kadar aspal optimum 5,2% dapat dilihat pada gambar diatas.

Dari hasil pengujian seluruh benda Uji yang telah dilakukan, diperoleh hasil pengujian karakteristik *marshall* asbuton 8% inovasi *styrofoam* dan asbuton 9% inovasi *styrofoam* dapat dilihat dibawah ini:

Tabel 9. Perbandingan AC-WC Asbuton 8% Inovasi Styrofoam

Parameter	Spesifikasi Bina Marga 2018	Asbuton Inovasi Styrofoam		Keterangan
		Variasi (%)	Hasil	
Void In Mix (VIM)	3,0% - 5,0%	2%	2,64%	Memenuhi
		4%	3,13%	
		6%	3,42%	
		8%	3,47%	
		10%	3,61%	
Void In Mineral Agregate (VMA)	Minimal 15%	2%	15,78%	Memenuhi
		4%	16,21%	
		6%	16,46%	
		8%	16,5%	
		10%	16,63%	
Void Filled With Asphalt (VFA)	Minimal 65%	2%	83,38%	Memenuhi
		4%	80,70%	
		6%	79,24%	
		8%	79,01%	
		10%	78,28%	

Tabel 10. Lanjutan

Parameter	Spesifikasi Bina Marga 2018	Asbuton Inovasi Styrofoam		Keterangan
		Variasi (%)	Hasil	
Stabilitas	Minimal 800kg	2%	1713,01 kg	Memenuhi
		4%	1791,17 kg	
		6%	1843,27 kg	
		8%	1901,89 kg	
		10%	2032,16 kg	
Flow	2,0 mm – 4,0 mm	2%	3,67 mm	Memenuhi
		4%	3,33 mm	
		6%	3,05 mm	
		8%	2,53 mm	
		10%	2,45 mm	
Marshall Quotient (MQ)	Minimal 250 kg/mm	2%	498,73 kg/mm	Memenuhi
		4%	539,90 kg/mm	
		6%	659,12 kg/mm	
		8%	779,04 kg/mm	
		10%	830,33 kg/mm	

Sumber : Hasil Analisis 2024

Dari Tabel 9 nilai-nilai hasil pengujian *marshall* pada variasi penambahan *styrofoam* dalam 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10% dinyatakan memenuhi standar yang telah ditetapkan pada spesifikasi Bina Marga 2018. Jadi penambahan *styrofoam* dengan asbuton 8% dapat digunakan pada campuran aspal AC-WC.

Tabel 11. Perbandingan AC-WC Asbuton 9% Inovasi Styrofoam

Parameter	Spesifikasi Bina Marga 2018	Asbuton Inovasi Styrofoam		Keterangan
		Variasi (%)	Hasil	
Void In Mix (VIM)	3,0% - 5,0%	2%	3,24 %	Memenuhi
		4%	3,72 %	
		6%	5 %	
		8%	5,38 %	
		10%	5,70 %	
Void In Mineral Agregate (VMA)	Minimal 15%	2%	16,21 %	Tidak Memenuhi
		4%	16,63 %	
		6%	17,74 %	
		8%	18,07 %	
		10%	18,34 %	
Void Filled With Asphalt (VFA)	Minimal 65%	2%	80,17 %	Memenuhi
		4%	77,64 %	
		6%	71,84 %	
		8%	70,24 %	
		10%	69,04 %	
Stabilitas	Minimal 800kg	2%	1882,35 kg	Memenuhi
		4%	1836,76 kg	
		6%	1719,52 kg	
		8%	1680,44 kg	
		10%	1660,90 kg	
Flow	2,0 mm – 4,0 mm	2%	2,57 mm	Memenuhi
		4%	3,37 mm	
		6%	3,46 mm	
		8%	3,58 mm	
		10%	3,75 mm	
Marshall Quotient (MQ)	Minimal 250 kg/mm	2%	735,72 kg/mm	Memenuhi
		4%	551,19 kg/mm	
		6%	522,28 kg/mm	
		8%	473,19 kg/mm	
		10%	444,74 kg/mm	

Sumber : Hasil Analisis 2024

Dari Tabel 10 nilai-nilai hasil pengujian *marshall* pada variasi penambahan *styrofoam* dalam 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10% dinyatakan memenuhi standar yang telah ditetapkan pada spesifikasi Bina Marga 2018 hanya VIM dengan kadar *styrofoam* 8% dan 10% tidak memenuhi standart yang telah

ditetapkan. Jadi penambahan *styrofoam* dengan asbuton 9% dapat digunakan pada campuran aspal AC-WC akan tetapi sebaiknya tidak menggunakan kadar *styrofoam* yang lebih dari 6%.

Pembahasan

Berdasarkan hasil dari pengujian *Specific Gravity and Absorption* untuk agregat kasar, agregat medium agregat halus yang disajikan pada Tabel 1-Tabel 3, dimana pengujian dilakukan berdasarkan SNI 03-1969-2008 bahwa untuk *Bulk Specific Gravity* agregat kasar, agregat medium, agregat halus mendapatkan nilai sebesar 2,64-2,75 gr/cm³, untuk *Saturated Surface Dry* agregat kasar, agregat medium, agregat halus mendapatkan nilai sebesar 2,72-2,78 gr/cm³, untuk *Apparent* agregat kasar, agregat medium, agregat halus mendapatkan nilai sebesar 2,79-2,87 gr/cm³ yang mana secara peraturan minimal 2,5 gr/cm³. Untuk penyerapan agregat kasar, agregat medium, agregat halus mendapatkan nilai sebesar 1,04-3,09% yang mana secara peraturan minimal 3%.

Berdasarkan hasil dari pengujian analisis saringan untuk agregat kasar, agregat medium, agregat halus, dan asbuton yang disajikan pada Gambar 2-Gambar 5, dimana untuk agregat kasar yang lolos sebesar 100-5,5% dan yang tertahan sebesar 0,9-0,1%. untuk agregat medium yang lolos sebesar 100-39,3% dan yang tertahan sebesar 9,3-1,4%. untuk agregat halus yang lolos sebesar 100-75,8% dan yang tertahan sebesar 56,7-10,6%. Dan untuk asbuton yang lolos sebesar 100-52,1% dan yang tertahan sebesar 28,6-0,4%.

Berdasarkan hasil pengujian gradasi agregat yang dapat dilihat pada Tabel 4, Pada saringan 1” dan 3/4” mendapatkan total campuran 100 dimana range dari spesifikasi yaitu 100. Pada saringan 1/2” mendapatkan total campuran 98,13 dimana range dari spesifikasi yaitu 90-100. Pada saringan 3/8” mendapatkan total campuran 80,98 yang range dari spesifikasi yaitu 77-90. Pada saringan #4 mendapatkan total campuran 59,58 yang range dari spesifikasi yaitu 53-69. Pada saringan #8 mendapatkan total campuran 39,67 yang range dari spesifikasi yaitu 33-53. Pada saringan #16 mendapatkan total campuran 28,92 yang range dari spesifikasi yaitu 21-40. Pada saringan #30 mendapatkan total campuran 20,50 yang range dari spesifikasi yaitu 14-30. Pada saringan #50 mendapatkan total campuran 15,04 yang range dari spesifikasi yaitu 9-22. Pada saringan #100 mendapatkan total campuran 9,54 yang range dari spesifikasi yaitu 6-15. Pada saringan #200 mendapatkan total campuran 6,03 yang range dari spesifikasi yaitu 4-9. Pengujian gradasi agregat dapat memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 revisi 2.

Setelah dilakukan pengujian gradasi agregat selanjutnya dapat dihitung perhitungan perkiraan kadar aspal optimum (Pb) yang mendapatkan Pb sebesar 5,72%. Dari perkiraan tersebut dapat dibulatkan menjadi 5,7% dan dibulatkan lagi dengan selisih 0,5 dua dibawah 5,7% dan 2 di atasnya. Setelah menentukan perkiraan kadar aspal optimum didapatkan komposisi masing-masing agregat yang dapat dilihat pada Tabel 5 yaitu dengan asbuton 8% dan pada Tabel 6 yaitu dengan asbuton 9% yang selanjutnya dilakukan pembuatan benda uji dengan masing-masing variasi berjumlah tiga briket sesuai dengan komposisi.

Berdasarkan hasil pengujian *marshall* yang dapat dilihat pada Tabel 7 dan Tabel 8, dimana pengujian dilakukan berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, untuk nilai VIM dengan asbuton 8% sebesar 1,60-4,97%, untuk nilai VIM dengan asbuton 9% sebesar 1,37-4,78% yang mana secara peraturan batasannya 3-5% dan dengan asbuton 8% dan asbuton 9% yang memenuhi peraturan terdapat pada kadar aspal 4,7-5,7%. untuk nilai VMA dengan asbuton 8% sebesar 16,08-17,36%, untuk nilai VMA dengan asbuton 9% sebesar 15,91-17,18% yang mana secara peraturan batasannya minimal 15%. untuk nilai VFA dengan asbuton 8% sebesar 69,14-90,87%, untuk nilai VFA dengan asbuton 9% sebesar 69,97-92,01% yang mana secara peraturan batasannya minimal 65%. untuk nilai stabilitas dengan asbuton 8% sebesar 1276,61-1660,90 kg, untuk nilai stabilitas dengan asbuton 9% sebesar 1485,04-1673,93 kg yang mana secara peraturan batasannya minimal 800 kg. untuk nilai *Flow* dengan asbuton 8% sebesar 2,22-4,46 mm, untuk nilai *Flow* dengan asbuton 9% sebesar 2,45-4,54 mm yang mana secara peraturan batasannya 2-4 mm. untuk nilai MQ dengan asbuton 8% sebesar 289,99-753,22 kg/mm, untuk nilai MQ dengan asbuton 9% sebesar 370,84-607,94 kg/mm yang mana secara peraturan batasannya minimal 250 kg/mm.

Berdasarkan Gambar 7 dan Gambar 8, dimana untuk nilai KAO dengan asbuton 8% mendapatkan 5,3% dan untuk nilai KAO dengan asbuton 9% mendapatkan 5,2%. Dengan KAO yang sudah ditentukan maka, dilakukan pembuatan benda uji inovasi limbah *styrofoam* dengan variasi 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10% dengan masing-masing variasi berjumlah tiga briket.

Berdasarkan hasil pengujian karakteristik *marshall* inovasi yang dapat dilihat pada Tabel 7 dan Tabel 8, dimana pengujian dilakukan berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, untuk asbuton 8% dengan inovasi *styrofoam*, nilai VIM, VMA, VFA, Stabilitas, *Flow*, dan *Marshall Quotient* setiap variasi dapat memenuhi Spesifikasi. Dan untuk asbuton 9% dengan inovasi *styrofoam*, nilai VIM yang memenuhi spesifikasi hanya pada variasi 2%-6% limbah *styrofoam*, untuk nilai VMA, VFA, Stabilitas, *Flow*, dan *Marshall Quotient* setiap variasi dapat memenuhi Spesifikasi.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dari karakteristik *marshall* yang telah dilakukan dengan menggunakan limbah *styrofoam* variasi 2%, 4%, 6%, 8%, 10% dapat diambil kesimpulan bahwa penambahan Asbuton LGA 50/30 dengan inovasi limbah *styrofoam* mempengaruhi nilai karakteristik *marshall*. Nilai stabilitas menunjukkan jika penambahan limbah *styrofoam* dengan kadar variasi 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10% dapat memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 dimana harus lebih dari 800 kg.

Untuk perbandingan asbuton tanpa *styrofoam* dan asbuton dengan *styrofoam*, pada campuran asbuton 8% dengan variasi penambahan limbah *styrofoam*, nilai VMA, VIM, stabilitas, dan MQ cenderung meningkat. Sedangkan VFA dan *flow* cenderung menurun jika dibandingkan dengan aspal pada posisi KAO. Pada campuran asbuton 9% dengan variasi penambahan limbah *styrofoam*, nilai VMA, VIM, dan *flow* cenderung meningkat. Sedangkan VFA, stabilitas dan MQ cenderung menurun jika dibandingkan dengan aspal pada posisi KAO. Secara keseluruhan, penambahan limbah *styrofoam* dalam campuran memberikan pengaruh yang signifikan terhadap aspal campuran AC-WC.

Untuk mencapai campuran *styrofoam* optimum terdapat pada kadar 6%, yang apabila berlebihan dapat menyebabkan nilai VIM terlalu tinggi yang akan mengakibatkan lapis keras 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 keras.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO T 245-97 (ASTM D 1559-76). Resistance Plastic of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus. American Society for Testing and Materials.
- Adly, E. (2016). *Styrofoam Sebagai Pengganti Aspal Penetrasi 60/70 Dengan Kadar 0%, 6,5%, 7,5%, 8,5%, Dan 9,5% Pada Campuran Ac-Wc*.
- Adnany, I., & Risidianto, Y. (2019). Penggunaan Asbuton Lawele Granular Asphlat (LGA) dan Buton Granular Asphalt (BGA) pada campuran aspal Porus. *Rekayasa Teknik Sipil*, 7(3), 1–8.
- Alhidayat, Riri, M. and Syukaisih (2021) 'Styrofoam Pada Kemasan Makanan di Stikes Hang Tuah Kota Pekanbaru Tahun 2020', 2(1), pp. 52-63
- BSN, 2008, SNI 03-1969-2008: Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2020). *Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan Revisi 2*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Hermadi, Madi. (2009). *Modul Pelatihan Tenaga Ahli Aspal Buton*. Asosiasi Pengembang Aspal Buton Indonesia, 2023
- Kafabihi, A., Wedyantadji, B., & Imananto, E. I. (2020). Penggunaan Aspal Buton Pada Campuran AC-WC (Asphalt Concrete - Wearing Course). *Gelagar*, 2(2), 36–44.
- Kamp, M., & Havranek, S. (2019). *Creating a desire to purchase, looking at consumer behavior and manipulation tactics*. Erasmus Universiteit Rotterdam.
- Kasriadi, K. (2022). Studi Penggunaan Asbuton Pada Campuran Aspal Panas Asphalt Concrete–Binder Course (AC-BC). *KURVA MAHASISWA*, 12(2), 218-225.
- Nur, H. S. (2019). Studi Karakteristik Lawele Granular Asphalt (LGA) Berbahan Tambah Low Density Polyethylene (LDPE) Terhadap Campuran Aspal Panas. *Jurnal MEDIA INOVASI Teknik Sipil Unidayan*, 8(1), 22-33.
- Pratama, A. W., Sukwika, T., & Kholil, K. (2022). Strategi Pertamina Dalam Memenuhi Kebutuhan Aspal Domestik Melalui Peningkatan Pangsa Pasar Aspal. *Eqien-Jurnal Ekonomi dan Bisnis*, 11(04), 392-400.

- Suaryana, N., Susanto, I., Ronny, Y., & Sembayang, I. R. (2018). Evaluasi Kinerja Campuran Beraspal dengan Bitumen Hasil Ekstraksi Penuh dari Asbuton. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 24(1), 62.
- Sulianti, I., Ibrahim, I., Subrianto, A., Monita, A., & Medici, M. (2019). Karakteristik *Marshall* Pada Campuran Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC) Dengan Penambahan *Styrofoam*. *Forum Mekanika*, 8(2), 51–62
- Sumarwoto, M. A. C. (2018). *Pengaruh Waktu Pemeraman Terhadap Stabilitas Campuran Aspal Emulsi Yang Mengandung Buton Granular Asphalt* (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin).