

Studi Eksprimental Dengan Metode Marshall Pemanfaatan Plastik Polystyrene Sebagai Bahan Aspal AC-BC

Adnan Adnan

Program Studi Teknik Sipil FT Universitas Muhammadiyah Parepare

Mirsandy Mirsandy

Program Studi Teknik Sipil FT Universitas Muhammadiyah Parepare

Hamka Hamka

Program Studi Teknik Sipil FT Universitas Muhammadiyah Parepare

Korespondensi Penulis: ferlywijaya774@gmail.com

Abstract. Polystyrene plastic waste is difficult to decompose naturally and becomes microplastics which pollute the environment. Therefore, plastic waste is utilized in road pavement mixtures. This research aims to find out whether the addition of Polystyrene to AC-BC asphalt with levels of 4% and 5% can improve the quality of asphalt based on the 2018 General Bina Marga specifications. This research was carried out in a laboratory and analyzed using the Marshall method. AC-BC asphalt test results with polystyrene content of 4% and 5%, show that only the VIM value at 4% plastic content with a value of 3.88% meets and 5% plastic content with a value of 2.58% does not meet the range of 3%-5%. , then apart from the VIM value of AC-BC asphalt it meets the specifications.
Keywords: AC-WC, AC-BC, Polystyrene, Marshall

Keywords: AC-BC asphalt; Polystyrene; Marshall.

Abstrak. Limbah plastik jenis Polystyrene sulit terurai secara alami dan menjadi mikroplastik yang mencemari lingkungan. Oleh karena itu dilakukan pemanfaatan limbah plastik pada campuran perkerasan jalan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apakah penambahan Polystyrene pada aspal AC-BC dengan kadar 4% dan 5% dapat meningkatkan kualitas aspal berdasarkan spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Penelitian ini dilakukan di laboratorium dan dianalisa menggunakan metode Marshall. Hasil pengujian aspal AC-BC dengan kadar Polystyrene 4% dan 5%, menunjukkan hanya nilai VIM pada kadar plastik 4% dengan nilai 3,88% memenuhi dan kadar plastik 5% dengan nilai 2,58% tidak memenuhi antara 3%-5%, maka selain nilai VIM pada aspal AC-BC memenuhi spesifikasi. Kata Kunci: AC-WC, AC-BC, Polystyrene, Marshall

Kata kunci: Aspal AC-BC; Polystyrene; Marshall.

PENDAHULUAN

Aspal adalah pengikat campuran sebagai faktor utama yang mempengaruhi kinerja campuran beraspal, berbagai upaya dapat dilakukan untuk memperbaiki sifat fisik aspal sebagai bahan pengikat untuk menghasilkan campuran jalan yang lebih kuat. Salah satu cara untuk mencegah kerusakan dini pada perkerasan jalan adalah dengan meningkatkan kualitas aspal sebagai pengikat agregat, cara yang sering dilakukan untuk meningkatkan kualitas aspal adalah dengan menambahkan bahan tambahan, salah satunya adalah memakai bahan plastik atau disebut aspal modifikasi. Sampah plastik juga dapat digunakan sebagai bahan tambahan, selain mudah didapat serta biaya pelaksanaan yang murah, penggunaan limbah plastik juga

dapat mengurangi permasalahan lingkungan yang diakibatkan oleh bertambahnya sampah plastik setiap tahunnya dengan aspal yang dimodifikasi kinerja perkerasan jalan.

Penelitian yang dilakukan oleh Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia atau biasa disebut LIPI di 18 Kota utama Indonesia menemukan 0,27 juta ton hingga 0,59 juta ton sampah masuk ke laut Indonesia selama kurun waktu 2018. Sampah yang paling banyak ditemukan adalah sampah plastik jenis Polystyrene (PS), menariknya dari penelitian tersebut ditemukan bahwa Polystyrene (PS) lebih dominan dari jenis sampah lain, hal itu dikarenakan sampah plastik botol masih memiliki nilai ekonomi yang tinggi serta dapat didaur ulang sedangkan jenis plastik Polystyrene (PS) atau styrofoam memiliki tingkat daur ulang yang cukup rendah (Lukihardianti, Soraya, dan Rezkisari, 2019).

Campuran aspal beton adalah sebuah campuran bahan fungsional sebagai bahan pengikat terdiri dari agregat kasar, agregat halus, filler dan bitumen perekat. Menurut (Sukirman, 2016) campuran yang harus dimiliki oleh beton aspal yaitu stabilitas, keawetan, kelenturan, ketahanan terhadap kelelahan, tahan geser, kedap air, dan mudah dilaksanakan, berikut beberapa karakteristiknya:

- a) **Stabilitas;** Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan untuk menahan beban lalu lintas tanpa ada perubahan bentuk permanen seperti gelombang, alur dan bleeding. Kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan fungsi jalan dan beban lalu lintas yang akan dilayani. Jalan yang melayani volume lalu lintas tinggi dan dominan kendaraan berat, membutuhkan perkerasan jalan yang nilai stabilitasnya tinggi sedangkan jalan yang tingkat volumenya rendah dan melayani kendaraan ringan tidak perlu mempunyai nilai stabilitas yang tinggi.
- b) **Keawetan (Durabilitas);** Keawetan adalah kekuatan daya tahan beton aspal untuk menerima pengulangan beban lalu lintas seperti berat kendaraan, gesekan antara roda dan trotoar, serta ketahanan terhadap keausan karena pengaruh cuaca. Misalnya perubahan udara, air atau suhu. Keawetanya dipengaruhi oleh tebal selimut aspal. Selimut aspal akan menyelimuti agregat secara homogen sehingga beton aspal akan lebih kedap air;
- c) **Kelenturan (Fleksibilitas);** Kelenturan adalah kemampuan beton aspal beradaptasi dengan penurunan pondasi (settlement) tanpa mengalami retak. Penurunan terjadi karena repitisi beban lalu lintas atau berat sendiri tanah;
- d) **Ketahanan terhadap kelelahan (Fatigue Resistance);** Ketahanan terhadap kelelahan (fatigue resistance) adalah kapasitas aspal beton mengalami lendutan berulang kali karena pengulangan beban lalu lintas, tanpa terjadinya kelelahan berupa alur dan retak. Terjadi karena menggunakan kadar aspal yang tinggi. Beberapa faktor yang mempengaruhi ketahanan kelelahan yaitu:

- a. VIM yang tinggi serta kadar aspal yang rendah berdampak kelelahan terjadi dengan cepat.
- b. VMA dan kadar aspal yang tinggi akan berdampak lapisan perkerasan menjadi tidak kaku;
- e) **Kekesatan atau tanah geser (Skid Resistance);** Tahan geser (skid resistance) adalah kemampuan pada lapisan permukaan aspal memberikan gaya gesek pada roda kendaraan sehingga tidak tegelincir atau slip. Faktor yang mempengaruhinya sama dengan untuk mendapatkan stabilitas. Untuk itu agregat yang digunakan tidak hanya berbutir kasar akan tetapi juga mempunyai daya tahan agar tidak licin akibat gerakan atau gesekan yang diakibatkan kendaraan secara berulang-ulang. Adapun nilai tahan geser diakibatkan oleh:
 - a. Menggunakan agregat dengan lapisan permukaan kasar.
 - b. Menggunakan kadar aspal yang tepat sehingga tidak terjadi bleeding.
 - c. Menggunakan agregat kasar yang cukup;
- f) **Kedap air (Impermeabilitas);** Kedap air adalah kemampuan beton aspal untuk tidak dimasuki air ataupun udara 17 kedalam lapisan aspal. Air dan udara dapat dapat mengakibatkan proses penuaan aspal lebih cepat serta pengelupasan selimut aspal dari permukaan agregat. Jumlah rongga yang tersisa setelah aspal dipadatkan menjadi indikator kekedapan campuran. Tingkat Impermeabilitasnya berbanding terbalik dengan tingkat durabilitasnya;
- g) **Mudah dilaksanakan (Workability);** Mudah dilaksanakan (workability) adalah kemampuan campuran aspal beton untuk mudah dihamparkan dan dipadatkan. Tingkat kemudahan dalam pelaksanaan pekerjaannya menentukan tingkat efesiensi. Faktor yang mempengaruhi kemudahan pekerjaannya adalah viskositas aspal, kepekaan aspal terhadap perubahan temperatur, dan gradasi serta kondisi agregat. Revisi atau koreksi terhadap rancangan campurannya dapat dilakukan apabila ditemukan kerusakan dalam pelaksanaannya.

Menurut Motlagh. A. (2012) pencampuran plastik jenis Polystyrene (PS) atau styrofoam untuk menaikkan kinerja campuran beraspal ada dua cara yaitu cara basah dan cara kering:

- a) Cara basah (wet process) yaitu metode pencampuran dimana plastik Polystyrene (PS) ditambahkan sampai homogen. Cara basah sangat sangat banyak membutuhkan tambahan modal, termasuk bahan bakar, mixer berkecepatan tinggi, sehingga aspal modifikasi yang dihasilkan cukup mahal dibandingkan dengan aspal konvensional.

- b) Cara kering (dry process) yaitu suatu metode pengabungan dimana plastik Polystyrene (PS) dimasukkan kedalam hasil agregat yang dipanaskan pada temperatur yang ditentukan, setelah itu aspal panas ditambahkan. Metode ini lebih hemat, dikatakan lebih hemat lantaran tidak mesti ada aspal yang patut dikeluarkan dari drum aspal di AMP jika drum aspal akan digunakan pada pencampuran aspal konvensional. Selain lebih hemat, metode kering ini juga lebih gampang karena hanya dengan memasukkan styrofoam dalam hasil akumulasi panas, tanpa menginginkan perlengkapan lain buat menggabungkan (mixer).

Polystyrene (PS) adalah bahan polimer dengan monomer stirena, merupakan hidrokarbon cair yang dibuat secara komersial dari minyak bumi. Pada suhu ruangan Polystyrene (PS) biasanya bersifat termoplastik padat, dapat mencair pada suhu yang lebih tinggi. Stirena tergolong senyawa aromatik. Polystyrene (PS) pertama kali dibuat pada tahun 1839 oleh seorang apoteker Jerman asal Berlin bernama Eduard Simon. Dari storax, getah pohon gum manis Turki, Liquidambar, menyuling sejenis zat berminyak yang dinamai styrol. Setelah beberapa hari penemuan, Simon menemukan bahwa styrol yang dihasilkan dari monomer telah mengental karena oksidasi menjadi bentuk jeli yang ia beri nama styroloxyd. Pada tahun 1845 ahli kimia Jerman John Blyth dan August Wilhelm Von Hofmann mewakili perubahan yang sama dari styrol tanpa adanya oksigen, zat ini dinamakan metastyrol. Kemudian analisis menunjukkan bahwa sifat-sifat kimia dari kedua zat yang dihasilkan adalah sama. Kemudian pada Tahun 1866 Marcelin Berthelot dengan tepat menganalisis pembentukan metastyrol dari styrol diproses polimerisasi. Setelah 80 Tahun lamanya Seorang kimiawan Jerman atas dasar tesis kimia organiknya bernama Hermann Staudinger menyadari bahwa penemuan Simon terdiri dari rantai panjang molekul stirena yang dipanaskan dalam reaksi menghasilkan beberapa makromolekul bernama Polystyrene (PS) plastik (Jame Xu, 2018). 29 Polystyrene (PS) atau biasa disebut styrofoam terbagi 2 (dua) yaitu, Foamed Styrofoam (PS) berbentuk padat dan Expanded Styrofoam (EFS) berbentuk busa kaku, atau disebut juga styrofoam. Butiran Polystyrene (PS) atau disebut Expanded Styrofoam (EFS) diresapi oleh bahan pengembang (blowing agent). Produksi Expanded Styrofoam (EFS) yaitu dengan proses pengembangan, dimana butiran EPS mengembang setelah pemanasan uap dan proses pencetakan, kemudian butiran yang telah melalui pengujian pengembangan lalu dipanaskan dengan steam agar semakin mengembang dan mengikat setiap butiran menjadi 1 (satu), sehingga berbentuk busa seperti Foamed Styrofoam

(a) Expanded Styrofoam

(b) Foamed Styrofoam

Bentuk Styrofoam (Polystyrene) (Sumber: Dok. Pribadi) Sifat fisik dari Polystyrene (PS) antara lain memiliki rumus kimia $(C_8H_8)_n$, kepadatan 0,96-1,04 gram/cm³, tidak larut dalam air, memiliki massa jenis antara 16-640 Kg/m³ dan titik leleh 100°C. Polystyrene (PS) memiliki perlindungan yang baik pada uap air dan suhu, tetapi perlindungan tidak terlalu baik terhadap gas lain seperti oksigen. Polystyrene (PS) mudah diproses, kuat, fleksibel, tahan air, lapisan lilin, melunak pada suhu 90°C.

METODELOGI

Penelitian ini menggunakan penelitian metode uji eksperimental yang merupakan metode pengujian kuantitatif untuk mengetahui bagaimana penelitian ini dilakoni dilaboratorium serta menyelidiki efek satu sama lain. Dilakukan beberapa tahapan sebelum melakukan penelitian, mulai dari studi literatur kemudian mempersiapkan material yang meliputi aspal, agregat kasar, agregat halus, filler dan bahan adiktif. Prosedur penelitian ini dikerjakan dengan segala pengecekan material terhadap dampak pengujian dengan persyaratan yang ditetapkan. Kemudian membuat 2 (dua) jenis struktur lapisan aspal dan dibuat beberapa buah benda uji masing-masing dari 2 (dua) jenis struktur lapisan aspal tersebut, serta penambahan bahan adiktif untuk aspal modifikasi. Setelah pembuatan benda uji (briket) selesai maka dilakukan pengujian Marshall. Dari pengujian Marshall yang dilakukan, maka diperoleh data yang dibutuhkan untuk memenuhi tujuan penelitian.

Bahan

- a. Agregat berupa agregat kasar, agregat halus, dan aspal penetrasi 60/70 yang diperoleh dari PT. Lakera Bum, kontraktor aspal yang ada di Pinrang.
- b. Bahan pengisi (filler) atau material lolos saringan No. 200 yang digunakan semen portland.
- c. Menggunakan limbah plastik jenis Polystyrene (PS) bekas wadah makanan, pengalas barang-barang elektronik, dan limbah dekorasi acara wedding organizer.

Alat

- a. Alat untuk pemeriksaan agregat, terdiri dari: Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram; Oven; Keranjang; Talang; Piknometer gelas ukur dengan kapasitas 500 ml; Mesin Los Angles; Bola-bola baja; Satu set saringan: 1, 3/4", 1 1/2", 3/8", 4, 8, 16, 30, 50, 100, 200, Pan; Sendok material; Mesin penggetar untuk saringan (sieve shaker).
- b. Alat untuk pemeriksaan aspal, terdiri dari: Termometer; Kompor gas; Piknometer; Bejana gelas, tahan terhadap pemanasan mendadak; Timbangan; Cincin kuningan; Bola

baja; Dudukan benda uji, lengkap dengan pengarah bola baja dan plat dasar; Alat penetrasi; Pengukur waktu (stopwatch).

- c. Alat untuk pengujian marshall, terdiri dari: Kompor; Wajan dan spatula; Cetakan (mold) berbentuk silinder; Penumbuk (compactor); Pengangkat briket (dongkrak hidrolis); Wadah (Waterbath); Satu set alat marshall terdiri dari kepala penekan yang berbentuk lengkung, cincin penguji berkapasitas 2500 kg dengan arloji tekan, dan arloji penunjuk kelelahan.

Prosedur Penelitian

Pada prosedur penelitian dilakukan tahapan pemeriksaan bahan material agregat dan aspal, serta penambahan bahan plastik terhadap campuran aspal panas. Berikut pengujian-pengujian yang dilakukan di laboratorium:

1. Pengujian karakteristik agregat kasar dan agregat halus
 - ✓ Pengujian berat jenis dan penyerapan (agregat kasar dan agregat halus) Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan berat jenis (bulk), berat jenis kering permukaan jenuh (Saturated Surface Dry = SSD), berat kering semu (apparent), serta untuk mengetahui persentase berat air yang terkandung (dapat diserap) oleh agregat kasar yang dihitung terhadap berat keringnya.
 - ✓ Pengujian abrasi (agregat kasar) Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap gesekan atau benturan (keausan) dengan menggunakan mesin Los Angeles.
 - ✓ Pengujian analisa saringan (agregat kasar dan agregat halus) Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat dengan menggunakan saringan.
2. Pengujian karakteristik aspal
 - ✓ Pengujian berat jenis aspal Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan nilai berat jenis bitumen aspal.
 - ✓ Pengujian titik lembek aspal Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan suhu berapa aspal akan mulai melembek atau menentukan nilai atau suhu titik lembek aspal.
 - ✓ Pengujian kehilangan berat aspal Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengetahui kehilangan berat aspal dengan cara pemanasan yang dinyatakan dalam persen.
 - ✓ Pengujian penetrasi aspal Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengetahui kekerasan aspal.
3. Metode rancangan campuran (Mix Design) Metode rancangan campuran aspal beton yang digunakan adalah rancangan campuran yang terdiri dari komponen-komponen agregat

yang merupakan komponen terbesar dalam campuran bahan pengikatnya aspal, dimana cara pencampurannya melalui proses pemanasan. Dengan metode ini, dapat menentukan jumlah pemakaian aspal yang tepat sehingga dapat menghasilkan komposisi yang baik antara agregat dan aspal sesuai dengan persyaratan teknis perkerasan jalan yang ditentukan.

4. Pembuatan benda uji (briket) Tujuan dilakukan pembuatan benda uji adalah untuk mengetahui karakteristik suatu campuran aspal pada tes Marshall. Berikut proses perencanaanya:
 - ✓ Pembuatan benda uji campuran normal Merencanakan campuran aspal dengan komposisi yang sudah ditentukan dan dilanjutkan dengan membuat benda uji campuran aspal pada 2 (dua) struktur lapisan aspal yaitu AC-WC dan AC-BC untuk mengetahui kadar aspal optimum, dengan kadar aspal 5% dan 6%, kemudian dilanjutkan pengujian Marshall untuk mengetahui Kadar Aspal Optimum (KAO) yang akan digunakan pada aspal dengan campuran plastik Polystyrene (PS).
 - ✓ Pembuatan benda uji dengan penambahan plastik Polystyrene (PS) Membuat benda uji campuran aspal menggunakan Kadar Aspal Optimum (KAO) yang didapat senilai 5,5% pada 2 (dua) struktur lapisan aspal yaitu AC-WC dan AC-BC dengan penambahan plastik jenis Polystyrene (PS), variasi kadar bahan tambah plastik 4%, dan 5% dari berat aspal yang didapat pada KAO. Dengan metode penggabungan cara kering (dry process) dimana plastik Polystyrene (PS) yang sudah dicacah kemudian ditimbang sesuai berat kadarnya lalu dicampur pada hasil agregat yang dipanaskan. Membuat benda uji dilanjutkan dengan pengujian Marshall untuk di analisis dan diambil kesimpulan.
5. Pengujian Marshall Tujuan dilakukan pengujian Marshall adalah untuk mengetahui karakteristik campuran dengan menentukan nilai stabilitas dan kelelahan (flow) suatu campuran beraspal, dan menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO) pada campuran beraspal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pemeriksaan Sifat-sifat Fisik Agregat Pengujian sifat-sifat fisik agregat terdiri dari pengujian pengujian berat jenis dan penyerapan agregat, dan pengujian keausan agregat kasar (abrasi), dan analisa saringan agregat.

- Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat; Dalam pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat, hasil prosedur pemeriksaan merujuk pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.

Tabel 1. Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar 1-2

No.	Jenis Pengujian	Hasil Pemeriksaan	Spesifikasi	Sat.	Ket.
1	Berat jenis bulk	2,64			Memenuhi
2	Berat jenis kering permukaan	2,69			Memenuhi
3	Berat jenis semu	2,80	Min 2,5	Gr	Memenuhi
4	Penyerapan (Absorption)	2,15	Maks. 3	%	Memenuhi

Dari hasil berat jenis agregat kasar 1-2 diatas, didapat nilai berat jenis bulk 2,64 gr, berat jenis kering permukaan 2,69 gr, berat jenis semu 2,80 gr, dan penyerapan 2,15%. Berdasarkan persyaratan spesifikasi berat jenis yaitu minimum 2,5 dan penyerapan air maksimal 3% maka agregat dalam pengujian ini telah memenuhi.

Tabel 2. Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar 0,5

No.	Jenis Pengujian	Hasil Pemeriksaan	Spesifikasi	Sat.	Ket.
1	Berat jenis bulk	2,78			Memenuhi
2	Berat jenis kering permukaan	2,74			Memenuhi
3	Berat jenis semu	2,67	Min 2,5	gr	Memenuhi
4	Penyerapan (Absorption)	1,41	Maks. 3	%	Memenuhi

Dari pengujian berat jenis agregat kasar 0,5 diatas didapat nilai berat jenis bulk 2,78 gr, berat jenis kering permukaan 2,74 gr, berat jenis semu 2,67 gr, dan penyerapan 1,41%. Berdasarkan persyaratan spesifikasi berat jenis yaitu minimum 2,5 dan penyerapan air maksimal 3% maka agregat dalam pengujian ini telah memenuhi.

Tabel 3. Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar abu batu

No.	Jenis Pengujian	Hasil Pemeriksaan	Spesifikasi	Sat.	Ket.
1	Berat jenis bulk	2,82			Memenuhi
2	Berat jenis kering permukaan	2,85			Memenuhi
3	Berat jenis semu	2,91	Min 2,5	gr	Memenuhi
4	Penyerapan (Absorption)	1,17	Maks. 3	%	Memenuhi

Dari pengujian berat jenis agregat halus (abu batu) diatas didapat nilai berat jenis bulk 2,82 gr, berat jenis kering permukaan 2,85 gr, berat jenis semu 2,91 gr, dan penyerapan 1,17%. Berdasarkan persyaratan spesifikasi berat jenis yaitu minimum 2,5 dan penyerapan air maksimal 3% maka agregat dalam pengujian ini telah memenuhi.

- Pemeriksaan keausan agregat kasar (abrasi) Dalam pemeriksaan keausan agregat kasar (abrasi) hasil prosedur pemeriksaan merujuk pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.

Tabel 4. Hasil pengujian agregat kasar (abrasi) 500 putaran

Saringan		Berat		Spesifikasi
Lolos	Tertahan	Sebelum (gr)	Sesudah (gr)	
19 mm (3/4")	12,5 mm (1/2")	2500	3978	
12,5 mm (1/2")	9,5 mm (3/8")	2500	3978	
Jumlah berat (gram)		5000	3978	
Berat tertahan saringan No. 12 (gram)		5000	3978	
Persen keausan		20,44%		Maks. 30%

Maka diperoleh nilai keausan sebesar 20,44 %. Sesuai dengan spesifikasi yang digunakan maksimal 30%.

- Pemeriksaan analisa saringan agregat Pengujian analisa saringan agregat terdiri dari pengujian analisa saringan agregat kasar dan agregat halus. Dalam pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat, hasil prosedur pemeriksaan merujuk pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.

Tabel 5. Hasil analisa saringan agregat kasar 1-2

No. Saring an	Sampel 1			Sampel 2			Rata-rata
	Berat Tertahan	(%) Tertahan	(%) Lolos	Berat Tertahan	(%) Tertahan	(%) Lolos	
3/4"	140,4	9,96	90,04	140	9,33	90,67	90,35
1/2"	1058,3	70,55	19,49	1050,1	70,01	20,66	20,07
3/8"	133,2	8,88	10,61	177,3	11,82	8,84	9,72
4	82,1	5,47	5,13	63,4	4,23	4,61	4,87
8	48,8	3,25	1,88	39,2	2,61	2	1,94
16	0,4	0,03	1,85	0,6	0,04	1,96	1,91
30	3,8	0,25	1,60	3,4	0,23	1,73	1,67
50	1,5	0,10	1,50	1,4	0,09	1,64	1,57
100	3,8	0,25	1,25	3,8	0,25	1,39	1,32
200	1,7	0,11	1,13	2,3	0,15	1,23	1,18
Pan	17	1,13	0	18,5	1,23	0	0
Jumlah	1500	100		1500	100		

Tabel 6. Hasil analisa saringan agregat kasar 0,5

No. Saring an	Sampel 1			Sampel 2			Rata - rata
	Berat Tertahan	(%) Tertahan	(%) Lolos	Berat Tertahan	(%) Tertahan	(%) Lolos	
3/4"	0	0	100	0	0	100	100
1/2"	0	0	100	0	0	100	100
3/8"	397	26,47	73,53	292	19,47	80,53	77,03
4	722,2	48,15	25,39	746,2	49,75	30,79	28,09
8	359,4	23,96	1,43	443,8	29,59	1,20	1,31
16	16,8	1,12	0,31	13,8	0,92	0,28	0,29
30	0,5	0,03	0,27	0	0	0,28	0,28
50	0	0	0,27	0	0	0,28	0,28
100	1	0,07	0,21	1	0,07	0,21	0,21
200	2,1	0,14	0,07	2,3	0,15	0,06	0,06
Pan	1	0,07	0	0,9	0,06	0	0
Jumlah	1500	100		1500	100		

Tabel 7. Hasil analisa saringan agregat halus abu batu

No. Saring an	Sampel 1			Sampel 2			Rata – rata
	Berat Tertahan	(%) Tertahan	(%) Lolos	Berat Tertahan	(%) Tertahan	(%) Lolos	
3/4"	0	9,96	90,04	140	9,33	90,67	90,35
1/2"	0	70,55	19,49	1050,1	70,01	20,66	20,07
3/8"	0	8,88	10,61	177,3	11,82	8,84	9,72
4	0	5,47	5,13	63,4	4,23	4,61	4,87
8	56,3	3,25	1,88	39,2	2,61	2	1,94
16	354,9	0,03	1,85	0,6	0,04	1,96	1,91
30	424,3	0,25	1,60	3,4	0,23	1,73	1,67
50	332,3	0,10	1,50	1,4	0,09	1,64	1,57
100	181,5	0,25	1,25	3,8	0,25	1,39	1,32
200	87,1	0,11	1,13	2,3	0,15	1,23	1,18
Pan	1	1,13	0	18,5	1,23	0	0
Jumlah	1500	100		1500	100		

○ Hasil Pemeriksaan Sifat-sifat Aspal

Pengujian sifat-sifat aspal terdiri dari pengujian berat jenis aspal, pengujian titik leleh aspal, pengujian kehilangan berat aspal, dan pengujian penetrasi. Pada pemeriksaan aspal merujuk pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Dari hasil pemeriksaan aspal diperoleh data pada tabel berikut:

Tabel 8. Hasil pengujian aspal

No.	Jenis Pengujian	Hasil Pemeriksaan	Spesifikasi	Satuan	Keterangan
1	Berat jenis aspal	1,03	$\geq 1,0$	gr/cc	Memenuhi
2	Titik leleh aspal	49	≥ 48	$^{\circ}\text{C}$	Memenuhi
3	Kehilangan berat aspal	0,26	$\leq 0,8$	0,1 mm	Memenuhi
4	Penetrasi pada 25 $^{\circ}\text{C}$	66,20	60-70	%	Memenuhi

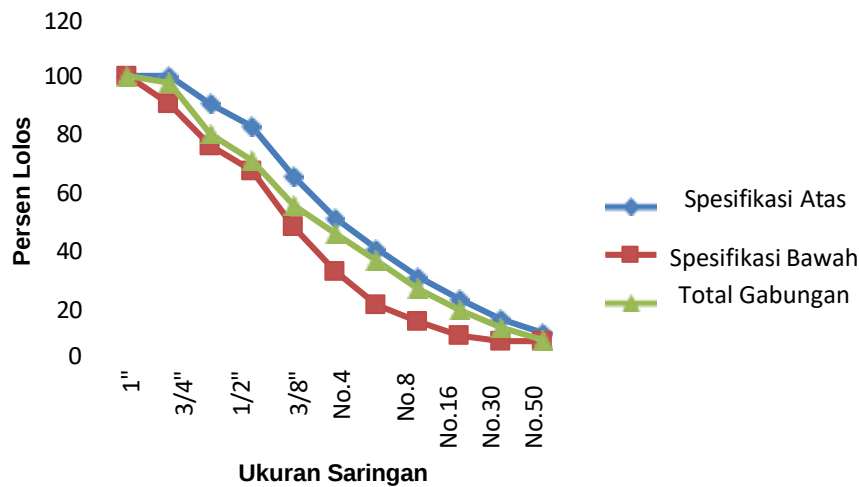
Dari hasil pengujian aspal diatas diperoleh nilai berat jenis aspal 1,03 gr/cc, titik leleh aspal 49 $^{\circ}\text{C}$, kehilangan berat aspal 0,26 mm, dan penetrasi pada 25 $^{\circ}\text{C}$ sebesar 66,2 mm. Berdasarkan persyaratan spesifikasi pemeriksaan aspal maka aspal dalam pengujian ini memenuhi.

○ Hasil Rancangan Campuran

Gradasi agregat gabungan Gradasi agregat gabungan menggunakan metode coba-coba (trial and error) yaitu nilai yang diperoleh dari analisa saringan agregat dengan memasukkan data spesifikasinya dari masing-masing analisa saringan. kemudian menentukan variasi persentase setiap agregat. Kemudian hasil penggabungan agregat diperoleh melalui perkalian persentase dengan persen lolos dari agregat sampai memenuhi spesifikasi yang diisyaratkan pada aspal AC-BC. Dari hasil pemeriksaan gradasi agregat gabungan AC-BC diperoleh data :

Tabel 9. Hasil gradasi agregat gabungan campuran aspal AC-BC

Saringan		26%	30%	40%	4	Total	Spek.
ASTM	(mm)	Agg. 1/2	Agg. 0,5	Abu Batu	Semen		AC-BC
1	25	26	30	40	4	100	100
3/4"	19	23,49	30	40	4	97,49	90-100
1/2"	12,5	5,22	30	40	4	79,22	75-90
3/8"	9,5	2,53	23,11	40	4	69,64	66-82
4	4,75	1,27	8,43	40	4	53,69	46-64
8	2,36	0,50	0,39	38,67	4	43,57	30-49
16	1,18	0,50	0,09	29,21	4	33,79	18-38
30	0,6	0,43	0,08	19,24	4	23,76	12-28
50	0,3	0,41	0,08	11,66	4	16,16	7-20
100	0,15	0,34	0,06	5,51	4	9,92	5-13
200	0,075	0,31	0,02	1,13	4	5,45	4-8

**Gambar 1.** Grafik hasil gradasi agregat gabungan campuran aspal AC-BC

Pengolahan data gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal AC-BC ditunjukkan dalam persen pada berat agregat, serta harus memenuhi spesifikasi yang berada antara batas atas dan batas bawah. Dari hasil gradasi agregat gabungan campuran aspal AC-BC diatas telah memenuhi batas-batas Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.

- Hasil berat agregat yang dibutuhkan untuk pembuatan benda uji

Dari hasil analisa gradasi agregat gabungan pada campuran aspal AC-BC diatas, maka dibuat berat agregat untuk pembuatan benda uji campuran aspal normal dan benda uji yang menggunakan bahan tambah plastik Polystyrene (PS). Maka, diperoleh perhitungn berat agregat yang dibutuhkan :

Tabel 10. Hasil berat agregat untuk benda uji campuran aspal normal pada lapisan aspal AC-BC

Jenis Lapisan aspal	Kadar Aspal (%)	Aspal (gr)	Agregat 1-2 (gr)	Agregat 0,5 (gr)	Abu Batu (gr)	Semen (gr)
AC-BC	5	60	296,4	342	456	45,6
	6	72	293,28	338,4	451,2	45,12

Tabel 11. Hasil berat agregat untuk penambahan plastik Polystyrene (PS) pada lapisan aspal AC-BC

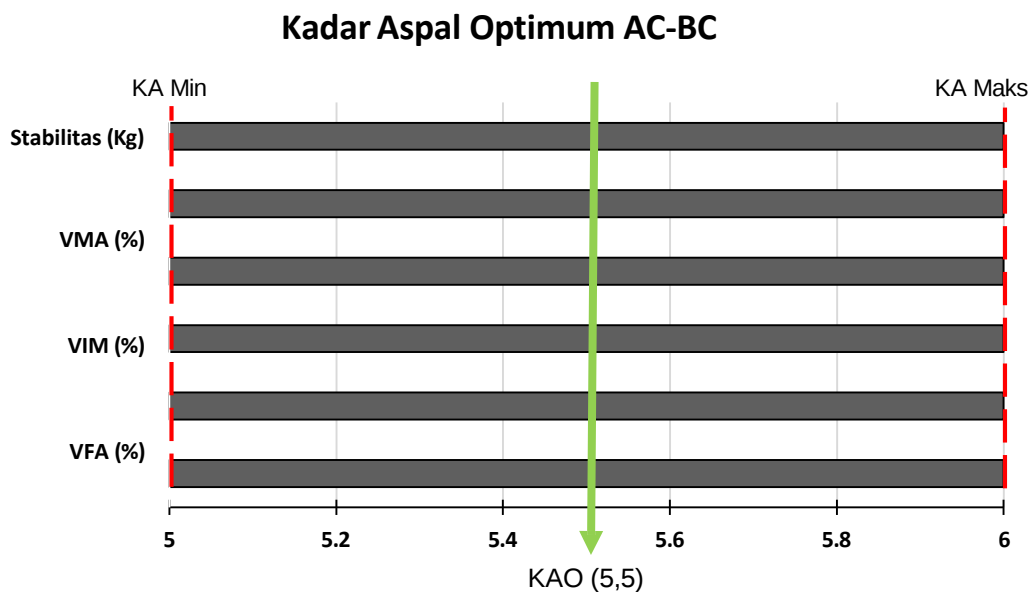
Jenis Lapisan aspal	Kadar Aspal Optimum (%)	Aspal Optimum (gr)	Agregat 1-2 (gr)	Agregat 0,5 (gr)	Abu Batu (gr)	Semen (gr)	Kadar plastik Polystyrene (PS) (gr)	
							4%	5%
AC-BC (I)	5,5	66	294,84	340,2	453,6	45,36	48	60
AC-BC (II)			294,84	340,2	453,6	45,36	48	60

○ Hasil Penentuan Kadar Aspal Optimum

Kadar aspal optimum merupakan jumlah aspal yang digunakan dalam campuran agregat agar tercapai spesifikasi persyaratan Stabilitas, VMA, VIM, VFA, Flow, dan Marshall Quotient. Penentuan kadar aspal optimum untuk menentukan besar kadar aspal yang efektif pada campuran yang dibutuhkan untuk pembuatan benda uji baru dengan komposisi agregat sama tapi dengan kadar aspal optimum yang telah ditentukan

Tabel 12. Hasil uji Marshall campuran normal aspal AC-BC

Karakteristik	Spesifikasi Umum	Kadar Aspal (%)	
		5%	6%
Stabilitas (kg)	Min. 800	1159,31	1268,42
VMA (%)	Min. 14	15,91	17,53
VIM (%)	3-5	4,64	3,99
VFA (%)	Min. 65	70,82	77,25
Flow (mm)	2-4	3,58	3,21
MQ (kg/mm)	Min 250	323,83	395,15



Gambar 2. Grafik Kadar Aspal Optimum (KAO) pada aspal AC-BC normal

$$\text{Kadar Aspal Optimum} = \frac{\text{KA Min} + \text{KA Maks}}{2} = \frac{5 + 6}{2} = 5,5 \%$$

Berdasarkan gambar diatas menunjukkan nilai stabilitas, VMA, VIM, VFA, *flow*, dan *Marshall Quotient* (MQ) memenuhi spesifikasi untuk aspal AC-WC dan AC-BC dengan kadar aspal 5%, dan 6%. Maka untuk setiap jenis aspal, nilai kadar aspal optimum yang diperoleh 5,5 %.

- Hasil pengujian Marshall

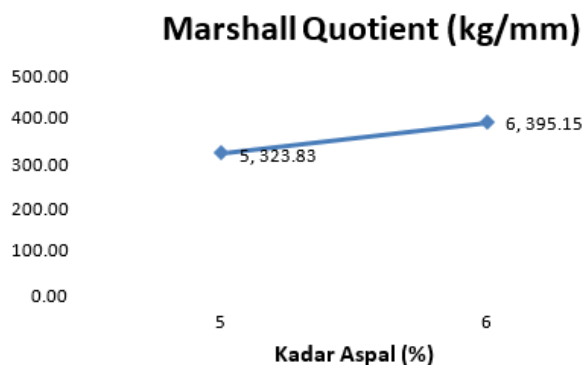
Hasil pengujian parameter karakteristik Marshall pada aspal AC-BC

Tabel. 13. Hasil pengujian Marshall aspal AC-BC pada campuran plastik jenis Polystyrene (PS) dengan kadar 4%, dan 5% pada keadaan KAO

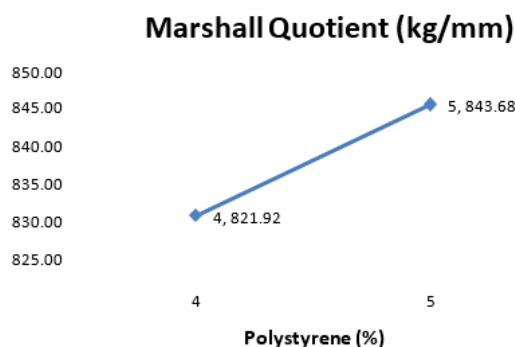
Karakteristik	Spesifikasi Umum	Polystyrene (%)	
		4%	5%
<i>Stability</i> (kg)	Min. 800	2021,92	2176,70
VMA (%)	Min. 14	16,34	15,22
VIM (%)	3-5	3,88	2,58
VFA (%)	Min. 65	76,28	83,06
<i>Flow</i> (mm)	2-4	2,46	2,58
<i>Marshall Quotient</i> (kg/mm)	Min. 250	821,92	843,68

- Hasil bagi Marshall (Marshall Quotient, MQ)

Nilai MQ (Marshall Quotient) yang diperoleh pada aspal normal serta menggunakan bahan plastik Polystyrene 4%, dan 5%. Berikut grafik nilai MQ pada Gambar 3, dan Gambar 4.



Gambar 3. Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan Marshall Quotient (kg/mm) pada campuran normal.



Gambar 4. Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan Marshall Quotient (kg/mm) pada Polystyrene 4%, dan 5%

Nilai Marshall Quotient pada kadar Polystyrene 4% sebesar 821,92 kg/mm, kadar Polystyrene 5% sebesar 843,68 kg/mm, maka memenuhi spesifikasi minimal 250 kg/mm. Dengan bertambahnya kadar Polystyrene nilai Marshall Quotient akan semakin tinggi.

KESIMPULAN

Hasil terhadap pengujian karakteristik Marshall aspal AC-BC dengan penambahan plastik Polystyrene (PS) menggunakan kadar 4% dan 5%. Maka, diperoleh beberapa kesimpulan: Hasil pengujian Marshall pada aspal AC-BC nilai stabilitas, VFA, flow, dan marshall quotient mengalami kenaikan, sedangkan nilai VMA, dan VIM mengalami penurunan setiap penambahan kadar plastik, hal ini menandakan rongga dalam agregat dan rongga dalam campuran semakin mengecil dan menyebabkan aspal tidak terlalu dapat mengisi ruang kosong dan mengikat agregat. Namun, hanya nilai VIM pada kadar plastik 4% dengan nilai 3,88% memenuhi spesifikasi dan kadar plastik 5% dengan nilai 2,58% yang tidak memenuhi spesifikasi antara 3%-5% berdasarkan spesifikasi Umum Bina Marga 2018.

DAFTAR PUSTAKA

- Danny, S. (2019). Modul Praktikum Bahan Perkerasan Jalan, Yogyakarta: UTY Press.
- dominasi-sampah-styrofoam-di-laut-indonesia (Diakses 24 April 2022).
- Firdaus, F, P. (2020). Pengaruh Penggunaan Styrofoam (FS) Pada Campuran RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) AC-WC Terhadap Parameter Marshall. Laporan Penelitian tidak dipublikasikan. Bandung: Universitas Komputer Indonesia.
- Hudoyo. P. F., Riani. D., Robby. (2021). Analisis Penggunaan Limbah Plastik Jenis Polystyrene (PS) Sebagai Bahan Tambahan Pada Campuran (HRSWC). Jurnal Keilmuan Teknik Sipil. 4:2656-6001.
- Ika. S., Ibrahim, Agus. S., Adelia M., Medici. (2019). Karakteristik Marshall Pada Campuran Asphalt-Wearing Course (AC-WC) Dengan Penambahan Styrofoam. Jurnal Forum Mekanika. 8:2356-1491.
- Irwansyah, R. (2021). Pengaruh Substitusi Styrofoam Pada Campuran Aspal Penetrasi 60/70 Terhadap Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) dengan Pengujian Marshall. Laporan penelitian ini tidak dipublikasikan. Medan: Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jendral Bina Marga. (2018). Jakarta Selatan: Direktorat Jendral Bina Marga.

- Kususma. D. (2014). Mengenal Konstruksi Lapisan Aspal. Diperoleh oleh: <https://dwikusumadpu.wordpress.com/2014/02/09/mengenal-konstruksi-lapisan-aspal/> (Diakses 24 April 2022).
- Lukihardianti. A., Soraya. D., & Rezkisari, I. (2019). Dominasi Sampah Styrofoam di Laut Indonesia/Republika-Online.Diperoleh dari: <https://www.republika.co.id/berita/q2ect5328/>
- Maulana, K. (2019). Pengaruh Penambahan Styrofoam Terhadap Karakteristik Campuran aspal AC-WC. Laporan Penelitian tidak dipublikasikan. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Rais. R, Nelmayant. S., Alpius. (2021). Pemanfaatan Limbah Styrofoam Sebagai Bahan Tambah Campuran AC-BC Yang Menggunakan Sungai Bittuang. Jurnal Teknik Sipil UKI Paulus-Makassar. 3:2775-4529.
- Rizky, N. (2021). Pengaruh Substitusi Styrofoam Pada Campuran Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC) Dengan Pengujian Marshall. Laporan penelitian ini tidak dipublikasikan. Medan: Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Sukirman, S. (2016). Beton Aspal Campuran Panas. Bandung: Institut Teknologi Nasional.
- Turnip, A, F. (2021). Pengaruh Hasil Ekstraksi Aspal Campuran AC-BC Dan ACWC Terhadap Job Mix Formula. Laporan Penelitian tidak dipublikasikan. Jakarta: Institut Teknologi PLN.
- Universitas Muhammadiyah Parepare. (2020). Modul Praktikum Jalan Dan Aspal, Parepare: UMPAR Press.
- Xu. J. (2018). Polystyrene (PS): Production, Market, Price And Its Properties. Diperoleh dari: <http://id.absmanufacturer.com/info/polystyrene-psproduction-market-price-an-25585999.html> (Diakses 17 Desember 2022).