e-ISSN: 2622-5549
DOI: https://doi.org/10.21009/jmenara.v21i1.55499

PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH *STYROFOAM* TERHADAP BENDA UJI PADA *AC-WC* MELALUI PENGUJIAN *MARSHALL*

THE INFLUENCE OF STYROFOAM WASTE ADDITION ON TEST OBJECTS IN AC-WC THROUGH MARSHALL TESTING

Maya Nabila Delani[1], Fithriyah Patriotika[2]
[1,2]Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang, Jl. Prof. Dr. Hamka, Air Tawar Barat, Padang Utara, Padang City, West Sumatra, 25171, Indonesia
Email: patriotika@ft.unp.ac.id
Received: 21 Mei 2025 Revised: 12 Juni 2025 Accepted: 20 Agustus 2025 Published: 22 Agustus 2025

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penambahan limbah styrofoam terhadap karakteristik campuran aspal pada lapisan permukaan jalan atau Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC). Limbah styrofoam, sebagai salah satu material termoplastik berbasis polistirena, memiliki potensi untuk dimanfaatkan dalam modifikasi campuran aspal guna mengurangi pencemaran lingkungan. Penelitian dilakukan melalui pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimen laboratorium. Tahapan meliputi persiapan bahan, pencampuran agregat dan aspal dengan variasi kadar styrofoam, pembuatan benda uji, serta pengujian karakteristik Marshall sesuai standar nasional. Parameter yang dianalisis meliputi stabilitas, flow, dan parameter volumetrik campuran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan styrofoam berdampak negatif terhadap performa campuran dengan stabilitas menurun dan kelelehan meningkat seiring dengan penambahan styrofoam. Campuran tanpa styrofoam menunjukkan ketahanan yang lebih baik terhadap beban lalu lintas dan perubahan iklim. Dengan demikian, limbah styrofoam tidak direkomendasikan sebagai bahan tambahan dalam campuran aspal karena tidak memberikan peningkatan mutu teknis. Pemanfaatan limbah non-biodegradable dalam konstruksi perlu dikaji ulang apabila tidak memberikan kontribusi positif terhadap keberlanjutan atau kinerja struktural.

Kata kunci: *AC-WC, Campuran Aspal, Limbah Plastik, Marshall, Styrofoam*

ABSTRACT

This study aims to evaluate the effect of adding styrofoam waste on the characteristics of asphalt mixtures in the surface layer of roads or Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC). Styrofoam waste, as one of the thermoplastic materials based on polystyrene, has the potential to be utilized in modifying asphalt mixtures to reduce environmental pollution. The research was conducted through a quantitative approach using laboratory experimental methods. The stages included material preparation, mixing aggregates and asphalt with variations in styrofoam content, making test specimens, and testing the Marshall characteristics according to national standards. The parameters analyzed included stability, flow, and volumetric parameters of the mixture. The research results show that the addition of styrofoam negatively impacts the mixture's performance, with stability decreasing and ductility increasing as styrofoam is added. Mixtures without styrofoam demonstrate better resistance to traffic loads and climate changes. Therefore, styrofoam waste is not recommended as an additive in asphalt mixtures as it does not provide improvements in technical quality. The use of non-biodegradable waste in construction needs to be reassessed if it does not contribute positively to sustainability or structural performance.

Keywords: *AC-WC, Aspalth Mixture, Marshall, Styrofoam, Plastic Waste*

PENDAHULUAN

Pertumbuhan jumlah penduduk di Indonesia berdampak langsung terhadap peningkatan volume sampah padat, yang menjadi salah satu faktor utama menurunnya kualitas lingkungan. Berdasarkan *World Health Organization* (WHO), sampah merupakan material sisa yang tidak digunakan, tidak diinginkan, dan dibuang sebagai hasil dari aktivitas manusia yang tidak terjadi secara alami. Sementara itu, Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008 mendeskripsikan sampah sebagai residu kegiatan manusia atau proses alam dalam bentuk padat (Defitri, 2023). Berdasarkan karakteristiknya, sampah diklasifikasikan menjadi tiga jenis utama, yaitu organik, anorganik, dan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3). Sampah organik mencakup material *biodegradable* seperti sisa makanan dan *vegetasi*, sedangkan sampah anorganik meliputi bahan *non-degradable* seperti plastik, logam, dan kaca. Limbah B3 merupakan limbah yang mengandung zat beracun atau reaktif, yang berasal dari aktivitas domestik maupun industri, seperti pelarut kimia, oli bekas, atau baterai (Amiruddin dkk., 2023). Permasalahan persampahan akan terus berkembang apabila tidak ditangani melalui pendekatan sistematis dan berkelanjutan, karena dapat menimbulkan degradasi lingkungan, pencemaran udara, serta kontaminasi sumber daya air. Sebagaimana tercantum dalam UU No. 18 Tahun 2008, pengelolaan sampah harus mencakup upaya pengurangan dan penanganan berbasis prinsip *reduce, reuse,* dan *recycle* (3R). Efektivitas pengelolaan ini dipengaruhi oleh faktor demografis, sosial ekonomi, tingkat literasi masyarakat, serta kemajuan teknologi (Kinanti dkk., 2022). Menurut data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN), pada tahun 2024 Indonesia menghasilkan lebih dari 25 juta ton sampah domestik, dengan dominasi material organik dan plastik. Kondisi ini menegaskan pentingnya inovasi teknis dalam pengelolaan limbah, termasuk pemanfaatan kembali material tertentu sebagai bagian dari strategi pembangunan infrastruktur berkelanjutan. Plastik memiliki beberapa jenis yaitu *Polyethylene Terephthalate* (PET) *High-Density Polyethylene* (HDPE), *Polyvinyl Chloride* (PVC), *Low Density Polyethylene* (LDPE), *Polypropylene* (PP), *Other* (O), dan *Polystyrene* (PS). *Styrofoam* atau bisa disebut plastik busa tergolong ke dalam sampah jenis plastik yang berbahan dasar *Polystryne* (PS). *Polystryne* ditemukan pada tahun 1930 dengan proses pembuatannya menggunakan polimerasi adisi dengan diberi perlakuan yaitu peniupan (Kinanti dkk, 2022). Karakteristik dari *styrofoam* yaitu kaku, keras, memiliki bunyi seperti metalic jika dijatuhkan, memiliki kekuatan permukaan yang keras namun mudah tergores, daya serap yang rendah, dan tidak bisa digunakan pada pemakaian suhu tinggi. *Styrofoam* merupakan zat *aditif* yang mudah ditemui dan sering digunakan dalam kehidupan sehari hari. *Styrofoam* merupakan limbah yang tidak dapat terurai dengan sendirinya, jika terus menerus digunakan akan mengakibatkan penumpukan dan dapat mencemari lingkungan (Wibawa, 2020). Pemanfaatan limbah *styrofoam* ini merupakan alternatif yang baik dalam modifikasi aspal untuk perkerasan jalan karena dapat mengurangi jumlah limbah *styrofoam* yang ada. *Styrofoam* merupakan jenis plastik nomor 6 yang berbahan dasar *polystyryne* (PS) sangat ringan dan kaku namun dapat rapuh dengan cepat. Karakteristik dari *styrofoam* juga mirip dengan aspal, yaitu memiliki sifat *termoplastik* yang memiliki arti dapat melunak jika dipanaskan dan kembali mengeras pada suhu ruang. Selain itu, *styrofoam* dan aspal juga sama sama mengadung *resin* yang memiliki sifat *adhesi*. Dengan kesamaan sifat dan karakteristik antara *styrofoam* dan aspal ini, diharapkan pencampuran kedua material ini dapat meningkatkan kemampuan daya tarik dari aspal dan durabilitasnya sehingga dapat

meningkatkan mutu pada perkerasan jalan (Putri dan Dwinanda, 2018). Perkembangan masyarakat modern telah menyebabkan peningkatan kebutuhan akan jasa transportasi jalan raya. Peningkatan ini disebabkan oleh peningkatan volume lalu lintas kendaraan dan peningkatan tekanan ban kendaraan. Selain itu peningkatan volume lalu lintas juga berdampak pada permintaan akan jasa transportasi jalan raya, oleh karena itu struktur perkerasan jalan harus dirancang dengan cara yang dapat memenuhi perubahan kondisi tersebut. Meskipun demikian, iklim dan cuaca Indonesia sangat mempengaruhi keawetan dan kekuatan lapisan perkerasan jalan (Utomo dan Romadlon, 2019). Berpergian dari satu tempat ke tempat lain akan menjadi sulit jika sektor transportasi kurang mendapat perhatian atau tidak diperhatikan. Ini adalah alasan mengapa transportasi sangat penting untuk pembangunan.

Secara keseluruhan, pengangkutan merupakan salah satu komponen utama pembangunan. Berpergian dari satu tempat ke tempat lain akan menjadi sulit jika sektor transportasi tidak mendapat perhatian atau bahkan tidak diperhatikan. Data dari badan pusat statistik menunjukkan bahwa transportasi darat di Indonesia sangat populer; jumlah kendaraan bermotor meningkat 6,29% dari tahun 2014 (BPS, 2015). Karena banyaknya permintaan untuk transportasi darat, diperlukan sarana transportasi darat baru dan pemeliharaan jalan lama. Indonesia memiliki dua jenis lapisan perkerasan jalan: perkerasan lentur yang terbuat dari campuran aspal dan agregat; perkerasan kaku yang terbuat dari beton semen; dan perkerasan lentur yang bersifat struktural, seperti lapisan penetrasi makadam (*Lapen*), lapis asbuton campuran dingin (*Lasbutag*), dan lapis aspal beton (*Laston*); dan non-struktural, seperti laburan aspal satu lapis (*Burtu*), laburan aspal dua lapis (Burda), lapis tipis aspal pasir (Latasir), laburan aspal (*Buras*), lapis tipis asbuton murni (*Latasbum*), dan lapis tipis aspal beton (*Lataston*) (Akhbar dkk., 2019).

Pada lapisan perkerasaan Agregat nantinya akan dikombinasikan dengan aspal panas agar menjadi campuran beraspal. Aspal digunakan sebagai pengikat antar agregat dan agregat berperan sebagai tulangannya. Aspal atau bisa disebut juga dengan *bitumen* yang merupakan material berwarna hitam kecoklatan yang memiliki sifat dapat melunak dan mencair jika terdapat perlakuan oleh zat panas atau diberikan perlakuan pemanasan, yang biasa disebut sifat *viskoelastis*. Sifat *viskoelastis* inilah yang dapat membuat aspal mengikat dan menahan agregat agar tetap pada tempatnya (Suhardi dkk., 2016).

Pada penelitian sebelumnya didapatkan pengaruh penambahan *styrofoam* sebagai bahan tambahan pada campuran *AC-WC* dengan menggunakan agregat batu Sungai Pattunuang Kabupaten Maros melalui pengujian *Marshall* yaitu jika kadar variasi *styrofoam* bertambah 1%, didapatkan nilai Stabilitas meningkat pada setiap penambahan kadar *styrofoam* yang menyatakan bahwa penambahan variasi *styrofoam* mempengaruhi daya lekat campuran pada setiap penambahan kadar *Styrofoam*, nilai *VIM*, dan *VMA* mengalami penurunan yang berarti karakteristik campuran dengan bahan tambah *styrofoam* ini dapat mengurangi penyerapan air maupun udara pada campuran. Menurunnya nilai *flow* pada setiap penambahan variasi kadar *styrofoam* yang berarti kelelahan/perubahan bentuk plastis suatu campuran aspal semakin kecil atau semakin kaku. Meningkatnya nilai *VFB* pada setiap penambahan variasi kadar *styrofoam* yang berarti ke dalam campuran terhadap air dan udara semakin tinggi. Jadi hasil penelitian tersebut memenuhi standar Bina Marga 2018 (Permasi dkk., 2022). Merujuk pada penelitian sebelumnya juga dapat disimpulkan hasil yang sama pada lapisan berbeda yaitu lapisan AC-Base dengan hasil semakin banyak presentase *styrofoam* yang

dicampurkan maka nilai penetrasi semakin menurun. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penambahan *styrofoam* akan mengakibatkan aspal semakin keras. *Styrofoam* dapat dijadikan sebagai alternatif bahan campuran aspal untuk meningkatkan titik lembek jika diperlukan pada situasi tertentu dimana diperlukan titik lembek yang lebih tinggi dari temperatur permukaan jalan agar tidak terjadi pelelehan aspal dipermukaan jalan. *Styrofoam* dapat dijadikan sebagai alternatif bahan campuran aspal untuk mengurangi kehilangan berat ketika pelaksanaan penghamparan aspal. Dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa *styrofoam* dapat dijadikan sebagai alternatif bahan campuran aspal untuk menambah stabilitas perkerasan *AC-Base* tapi dengan batasan sampai dengan kadar 2,6% (Wirahadi, 2017). Selain itu, terdapat juga penelitian yang hasilnya tidak efektif seperti pada penelitian yang berjudul "Pengaruh *Styrofoam* Bekas pada Campuran *AC-WC* Menggunakan Batu Sungai Teik Toraja Utara". Berdasarkan penelitian tersebut didapatkan pengaruh *styrofoam* bekas terhadap campuran *AC-WC* sangat mempengaruhi nilai dari Stabilitas, *Flow*, *VIM, VMA, dan VFB*. Banyaknya *styrofoam* yang digunakan membuat VIM menjadi kecil, sehingga campuran tersebut dapat lebih kedap air, sekaligus dapat membuat rongga rongga pada campuran banyak yang terisi oleh *styrofoam*. Hal ini berakibat aspal tidak efektif dalam mengikat agregat sehingga berkurangnya kekuatan dari campuran (Paembonan dkk., 2022).

Berdasarkan uraian penelitian terdahulu di atas maka dapat disimpulkan bahwa *styrofoam* dapat digunakan untuk campuran aspal dengan karakteristiknya yang memenuhi standar Bina Marga, maka pada penelitian ini akan dilakukan pengujian *Marshall* dengan *styrofoam* sebagai bahan tambahan campuran aspal, dan pada penelitian ini menggunakan lapisan *AC-WC* karena lapisan ini merupakan lapisan teratas pada struktur perkerasan jalan yang langsung bersentuhan dengan lalu lintas, dengan tujuan agar dapat mengevaluasi dampak dari penggunaan limbah *styrofoam* ini terhadap ketahanan jalan yang berasal dari beban kendaraan dan kondisi lingkungan.

METODE

Penambahan limbah *styrofoam* terhadap benda uji pada *AC-WC* dengan pengujian *Marshall* ini menggunakan metode eksperimental dan menggunakan pendekatan kuantitatif karena untuk mendapatkan datanya melalui beberapa pengujian dan menggunakan pendekatan kuantitatif karena hasil data berupa numerik dengan strategi eksperimen dan melakukan serangkaian pengujian.

1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di dua laboratorium, yaitu Laboratorium Transportasi dan Perkerasan Jalan Raya Departemen Teknik Sipil Universitas Negeri Padang dan UPTD Laboratorium Bahan dan Konstruksi Dinas PUPR Provinsi Sumatera Barat. Penelitian ini dimulai pada bulan April – Mei 2025.

2. Metode Pengumpulan Data

Data yang menjadi bahan pendukung pada penelitian merupakan data primer yang didapatkan dengan melakukan beberapa pengujian. Pengujian tersebut meliputi pengujian agregat dan pengujian aspal. Pengujian agregat terdiri dari beberapa pengujian yaitu pengujian analisis saringan, pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar dan halus, pengujian abrasi dengan mesin *los angeles*, dan pengujian kelekatan agregat terhadap aspal. Sedangkan pada pengujian aspal meliputi pengujian penetrasi, pengujian titik lembek, pengujian titik nyala dan titik bakar, pengujian daktilitas, pengujian berat jenis aspal, dan pengujian kehilangan berat aspal (TFOT). Data yang didapatkan disesuaikan dengan SNI yang digunakan. Setelah melakukan pengujian agregat dan aspal, maka dilanjutkan dengan pembuatan benda uji

serta melakukan pengujian *Marshall* agar diperolehnya data stabilitas, *flow*, VMA, VIM, VFB, dan MQ.

3. Tahapan Penelitian

Penelitian dimulai dengan persiapan alat dan bahan yang akan digunakan untuk pengujian material, pembuatan benda uji, dan pengujian *Marshall*. Perencanaan benda uji menggunakan campuran yang terdiri dari aspal modifikasi dan agregat. Pembuatan benda uji dimulai dengan penentuan kadar aspal optimum (KAO), setelah didapatkan KAO dilanjutkan dengan pembuatan benda uji dalam keadaan KAO dan penggunaan aspal modifikasi yaitu campuran *styrofoam* dengan kadar yang direncanakan meliputi kadar *styrofoam* 0%, 1%, 3%, dan 5%. Setelah mendapatan gradasi agregat pada pengujian analisis saringan, didapatkan rencana penggunaan aspal (PB %) yaitu 5,5% maka variasi aspal yang digunakan yaitu 4,5%; 5%; 5,5%; 6%; dan 6,5% yang masing masing kadar aspalnya ada 3 benda uji. Setelah mendapatkan KAO, maka dilanjutkan dengan pembuatan benda uji pada kondisi KAO dengan penambahan *styrofoam* pada campuran aspal yang digunakan dengan tujuan mendapatkan kasar *styrofoam* yang optimum. Pada pembuatan benda uji dengan kondisi KAO dan penambahan *styrofoam* yang masing masingnya juga dibuat 3 benda uji, maka total benda uji yaitu 24 buah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan *styrofoam* pada campuran beraspal dengan melakukan pengujian *Marshall*. Dari hasil pengujian sifat fisis yang sudah dilakukan di Laboratorium Transportasi dan Perkerasan Jalan Raya Departemen Teknik Sipil Universitas Negeri Padang dan UPTD Laboratorium Bahan dan Konstruksi Dinas PUPR Provinsi Sumatera Barat diperoleh data yang memenuhi spesifikasi yang digunakan.

1. Spesifikasi

Pada pengujian agregat dan aspal terdapat SNI acuan yang digunakan untuk metode pengerjaan serta spesifikasi yang harus dipenuhi, spesifikasi pengujian agregat dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Spesifikasi Agregat

No.	Jenis Pengujian Agregat	Metode Pengujian (SNI)
1.	Keausan Agregat	SNI 2417:2008
2.	Kelekatan Agregat Terhadap Aspal	SNI 2439:2011
3.	Berat Jenis Agregat Kasar	SNI 1969:2016
4.	Penyerapan Agregat Kasar	SNI 1969:2016
5.	Berat Jenis Agregat Halus	SNI 1970:2016
6.	Penyerapan Agregat Halus	SNI 1969:2016

Tabel 1 di atas menunjukkan standar metode pengujian agregat yang digunakan, sedangkan pada pengujian aspal juga terdapat standar metode pengujian yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Spesifikasi Pengujian Aspal

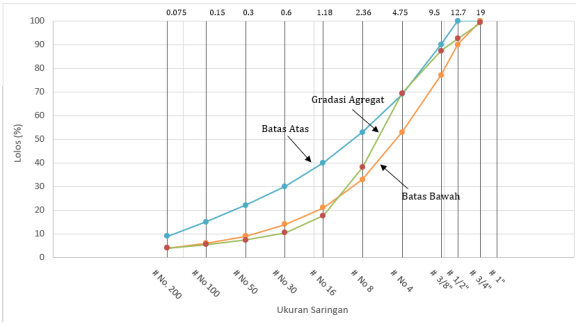
No.	Jenis Pengujian Agregat	Metode Pengujian (SNI)
1.	Penetrasi pada 25°C	SNI 2456:2011
2.	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011
3.	Titik Nyala dan Titik Bakar (°C)	SNI 2433:2011

No.	Jenis Pengujian Agregat	Metode Pengujian (SNI)
4.	Daktilitas	SNI 2432:2011
5.	Berat Jenis Aspal	SNI 2441:2011
6.	Kehilangan Berat Aspal (TFOT)	SNI 06-2440-1990

Tabel 2 di atas merupakan spesifikasi yang digunakan untuk metode pengujian aspal pada penelitian ini.

2. Pemeriksaan Material

Pada penelitian ini tahap awal yang dilakukan yaitu pemeriksaan material yang meliputi pengujian agregat dan pengujian aspal. Untuk menentukan proporsi persen agregat. penelitian ini menggunakan metode *trial and error* terhadap hasil pengujian analisis saringan. Analisis ini didapatkan proporsi persen agregat kasar (split 1-2 cm) 10%, agregat medium (*screen* 0,5-1 cm) 36%, dan agregat halus (abu batu) 54%. Hasil tersebut kemudian dilakukan analisis komposisi gradasi agregat yang kemudian menghasilkan grafik gradasi agregat gabungan yang dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Grafik Gradasi Agregat Gabungan

Pada grafik di atas diketahui bahwa grafik tersebut sudah memenuhi spesifikasi Kementrian PUPR (2018). Dilanjutkan dengan pengujian keausan agregat, pengujian ini menggunakan mesin *los angeles* dan didapatkan nilai keausan 11,4%. Hasil ini memenuhi spesifikasi yang disyaratkan yaitu ≤ 40%. Kemudian dilakukan pengujan berat jenis dan penyerapan agregat kasar dan agregat halus. Pada pengujian berat jenis agregat kasar didapatkan berat jenis *bulk* rata rata 2,5, berat jenis SSD rata rata 2,6, berat jenis semu rata rata 2,8, dan penyerapan air rata rata 3,8. Pada berat jenis agregat halus didapatkan berat jenis bulk rata rata 2,4, berat jenis SSD rata rata 2,6, berat jenis semu rata rata 2,9, dan penyerapan rata rata 0,076. Pengujian agregat terakhir yaitu kelekatan agregat terhadap aspal yang diperoleh persentase penyelimutan agregat pada angka 98%, hasil pengujian ini memenuhi standar yang ada yaitu penyelimutan minimal 95%.

Selanjutnya dilakukan pemeriksaan karakteristik aspal, pengujian yang dilakukan yaitu penetrasi aspal. Dari hasil pengujian penetrasi aspal diketahui nilai penetrasi aspal pada angka 69,54 mm, hasil ini memenuhi spesifikasi untuk aspal pen 60/70 yaitu 60-70 mm. Pengujian selanjutnya yaitu pengujian titik lembek, pengujian ini memperoleh hasil titik lembek rata rata pada suhu 48,5°C dan pengujian ini sudah memenuhi syarat yang ada yaitu ≥48°C. Pengujian berikutnya yaitu pengujian daktilitas dengan nilai rata rata ≥100 cm sesuai syarat yang ada yaitu ≥100 cm. Pengujian titik nyala dan titik bakar aspal memperoleh hasil titik nyala yaitu 340°C dan titik bakar yaitu 400°C, maka pengujian ini sudah memenuhi syarat yaitu ≥232°C. Pengujian berat jenis aspal memperoleh nilai berat rata rata 1,046 yang mana sudah memenuhi syarat yaitu ≥1. Terakhir pengujian kehilangan berat aspal (TFOT) didapatkan persentase kehilangan rata rata yaitu sebesar 0.2587%, hasil ini sudah memenuhi syarat yaitu ≤0.8%. Setelah pengujian material, dilanjutkan dengan pembuatan benda uji untuk mendapatkan nilai KAO. Dari hasil komposisi gradasi agregat yang telah diuji sebelumnya didapatkan nilai PB 5,5%.

Selanjutnya dapat dibuat benda uji untuk menentukan nilai KAO dengan variasi kadar aspal 4,5%; 5%; 5,5%; 6%; 6,5%. Setelah pembuatan benda uji untuk menentukan nilai KAO maka dilakukan pengujian *Marshall* untuk mendapatkan data stabilitas, *flow*, VMA, VIM, VFB, dan MQ. Pengujian tersebut memperoleh data sebagai berikut pada Tabel 3 dibawah ini.

Tabel 3. Hasil Pengujian *Marshall* Untuk Mendapatkan Nilai KAO

% Aspal	Berat Isi	Bj. Max Camp.	VMA	VIM	VFB	Stabilitas	Stabilitas *Marshall*	*Flow*	MQ
4,5%	2,309	2,530	17,2	8,8	49,2	698	672	2,79	250
4,5%	2,345	2,530	15,9	7,3	54,0	718	691	2,54	283
4,5%	2,318	2,530	16,9	8,4	50,4	778	748	2,29	340
	2,324	2,530	16,7	8,2	51,1	732		2,54	288
5%	2,347	2,512	16,3	6,5	59,9	818	787	3,05	268
5%	2,358	2,512	15,9	6,1	61,5	858	825	3,05	281
5%	2,352	2,512	16,1	6,4	60,6	878	806	3,05	288
	2,352	2,512	16,1	6,3	60,6	851		3,05	279
5,5%	2,351	2,493	16,6	5,7	65,7	669	614	3,81	176
5,5%	2,390	2,493	15,2	4,1	72,8	1038	998	3,30	314
5,5%	2,366	2,493	16,1	5,1	68,3	938	902	3,56	264
	2,369	2,493	16,0	5,0	68,8	**882**		**3,56**	248
6%	2,364	2,475	16,6	4,5	73,1	858	825	3,43	250
6%	2,354	2,475	16,9	4,9	71,3	858	825	3,30	260
6%	2,385	2,475	15,8	3,6	77,2	857	787	3,94	218
	2,368	2,475	16,4	4,3	73,8	858		3,56	241
6,5%	2,422	2,457	15,0	1,4	90,7	857	787	3,94	218
6,5%	2,318	2,457	18,6	5,6	69,8	767	767	3,68	208
6,5%	2,319	2,457	18,6	5,6	69,8	758	729	3,68	206
	2,353	2,457	17,4	4,2	75,8	794		3,77	211

Berdasarkan pengujian *Marshall* yang sudah dilakukan maka dapat ditentukan nilai kadar aspal optimum (KAO) nya dengan mengambil nilai stabilitas tertinggi yang memenuhi spesifikasi yaitu pada campuran *AC-WC* nilai stabilitas ≥ 800 dan *flow* pada rentang 2 – 4 mm. Pada pengujian ini didapatkan hasil tertinggi dengan persen kadar aspal 5,5% dengan nilai stabilitas 882 kg serta nilai *flow* 3,56 mm. Setelah memperoleh kadar aspal optimum yaitu 5,5% maka dilakukan analisis perhitungan timbangan cetakan *Marshall AC-WC* dengan kondisi KAO dan penambahan *styrofoam* sebagai campuran aspal dengan persentase penggunaan yaitu 1%; 3%; dan 5%. Setelah dilakukannya pencampuran, pemadatan, dan perawatan, maka benda uji akan dilakukan pengujian *Marshall* untuk mendapatkan nilai stabilitas dan *flow*, dapat dilihat pada Tabel 4 di bawah ini

Tabel 4. Hasil Pengujian *Marshall* dalam Keadaan KAO

% *Styrofoam*	Berat Isi	Bj.Max Camp.	VMA	VIM	VFB	Stabilitas	Stabilitas *Marshall*	*Flow*	MQ
1%	2,362	2,493	16,2	5,3	67,5	938	902	2,48	270
1%	2,363	2,493	16,2	5,2	67,8	878	844	3,56	247
1%	2,362	2,493	16,2	5,3	67,5	818	787	3,43	239

% *Styrofoam*	Berat Isi	Bj.Max Camp.	VMA	VIM	VFB	Stabilitas	Stabilitas *Marshall*	*Flow*	MQ
	2,362	2,493	16,2	5,2	67,6	878		3,49	252
3%	2,344	2,493	16,8	6,0	64,5	838	902	3,05	308
3%	2,345	2,493	16,8	6,0	64,6	798	767	3,68	217
3%	2,342	2,493	16,9	6,1	64,1	838	806	3,56	236
	2,343	2,493	16,9	6,0	64,4	858		3,43	250
5%	2,319	2,493	17,7	7,0	60,6	787	787	3,18	248
5%	2,339	2,493	17,0	6,2	63,7	958	921	3,30	290
5%	2.315	2,493	17,9	7,1	60,1	748	748	3,43	218
	2.324	2,493	17,5	6,8	61,4	831		3,30	252

Berdasarkan pengujian *Marshall* yang sudah dilakukan maka dapat ditentukan nilai kadar *styrofoam* optimumnya dengan mengambil nilai stabilitas tertinggi yang memenuhi yaitu pada persen *styrofoam* 1% dengan nilai stabilitas 878 kg dan nilai *flow* 3,49 mm.

SIMPULAN

Pada kondisi Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 5,5%, dilakukan pengujian *Marshall* dengan variasi penambahan *styrofoam* sebagai bahan campuran aspal pada persentase 1%; 3%; dan 5%. Pada benda uji tanpa penambahan *styrofoam* (0%), diperoleh nilai stabilitas sebesar 882 kg dengan nilai kelelehan sebesar 3,56 mm. Penambahan *styrofoam* sebanyak 1% menyebabkan penurunan nilai stabilitas menjadi 878 kg dan penurunan kelelehan menjadi 3,49 mm. Selanjutnya, pada penambahan *styrofoam* 3%, nilai stabilitas kembali menurun menjadi 858 kg dengan nilai kelelehan sebesar 3,43 mm. Pada penambahan *styrofoam* 5%, nilai stabilitas semakin menurun menjadi 831 kg dan kelelehan berkurang menjadi 3,30 mm.

Hasil ini menunjukkan bahwa campuran *AC-WC* dengan penambahan *styrofoam* yang paling memenuhi nilai stabilitas minimum yang disyaratkan yaitu ≥ 800 kg dan nilai kelelehan (*flow*) harus berada dalam rentang 2–4 mm terdapat pada penambahan *styrofoam* 1% namun tidak lebih baik daripada hasil *marshall* aspal tanpa penambahan *styrofoam*. Maka dapat disimpulkan pada penelitian ini penambahan *styrofoam* tidak lebih baik daripada campuran aspal tanpa modifikasi (aspal murni) karena hasil stabilitas dan *flow* menunjukkan aspal tanpa modifikasi lebih baik daripada aspal modifikasi.

DAFTAR PUSTAKA

Akhbar, H. T., Hadi, W., dan Daryati. (2019). Kajian Parameter Marshall dengan Menggunakan Limbah Karet Ban-Dalam Kendaraan sebagai Bahan Tambah pada Campuran Lapis Aus Permukaan Aspal Beton (AC-WC). *Menara : Jurnal Teknik Sipil*, *14*(2), 46–51.

Amiruddin, Filantropie, N. A., Ramadhani, S. L., dan Artini, S. R. (2023). Pemanfaatan Limbah Styrofoam sebagai Bahan Tambah Ashpalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) dengan Variasi Suhu Pencampuran. *Pilar Jurnal Teknik Sipil Politeknik Negeri Sriwijaya*, *18*(1), 1–7.

Kinanti, A., Sarwono, D., dan Setiawan, A. (2022). Tinjauan Durabilitas Penambahan Kadar 1,5% Styrofoam pada Aspal Penetrasi 60/70 terhadap Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC). *10*(2), 137–144.

Paembonan, F., Alpius, dan Kamba, C. (2022). Pengaruh Styrofoam Bekas pada Campuran AC-WC menggunakan

Batu Sungai Teik Toraja Utara. *Paulus Civil Engineering Journal*, *4*(2), 272–279.

Pemerintah Indonesia. (2008). *Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008 Tentang Pengelolaan Sampah.* Jakarta.

Permasi, S. D., Alpius, dan Radjawane, L. E. (2022). Pengaruh Penambahan Styrofoam pada Campuran AC-WC Menggunakan Batu Sungai Pattunuang Maros. *Paulus Civil Engineering Journal*, *4*(4), 666–675.

Putri, E. E. dan Dwinanda, A. (2018). The Effect of Styrofoam Addition into HRS-Base on Marshall Characteristics. *International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology*, *8*(5), 2182-2188.

Suhardi, Priyo, P., dan Hadi, A. (2016). Studi Karakteristik Marshall pada Campuran Aspal dengan Penambahan Limbah Botol Plastik. *JRSDD*, *4*(2), 284–293.

Utomo, N. dan Romadlon, C. F. S. (2019). Pemanfaatan Limbah Tempurung Kelapa sebagai Material Pengisi pada Campuran Perkerasan Jalan. *Jurnal Envirotek*, *11*(1), 59–65.

Wibawa, G. M. (2020). *P*engaruh Penambahan Limbah Styrofoam terhadap Hasil Marshall untuk AC-Base. *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.

Wirahadi, M. (2017). Elemen Interior Berbahan Baku Pengolahan Sampah Styrofoam dan Sampah Kulit Jeruk. *Jurnal Intra*, *5*(2), 144–153.