ANALISIS KARAKTERISTIK CAMPURAN ASPAL (AC-WC) DALAM PENGGUNAAN POLYSTYRENE (STYROFOAM) DENGAN METODE MARSHALL

(*ANALYSIS OF ASPHALT MIXTURE CHARACTERISTICS (AC-WC) IN THE USE OF POLYSTYRENE (STYROFOAM) USING THE MARSHALL METHOD*)

Anggun Aengelina[1], Imam Hagni Puspito[1]
[1]Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Indonesia
E-mail: anggunaengelina06@gmail.com

Diterima 16 September 2025, Disetujui 25 November 2025

ABSTRAK

Pertumbuhan jumlah kendaraan di Indonesia menuntut peningkatan kualitas perkerasan jalan yang mampu menahan beban lalu lintas secara optimal. Di sisi lain, limbah plastik seperti polystyrene (styrofoam) yang sulit terurai menjadi tantangan lingkungan yang signifikan. Penelitian ini mengkaji pemanfaatan limbah polystyrene sebagai bahan tambahan dalam campuran aspal AC-WC guna meningkatkan kinerja teknis sekaligus mendukung konsep konstruksi ramah lingkungan. Variasi kadar polystyrene yang digunakan yaitu 2%, 2,5%, dan 3% dari total berat agregat. Tujuan dari penilitian ini Menganalisis sifat fisik aspal yang dihasilkan dengan penambahan plastik polystyrene dengan menggunakan marshall test dan mengetahui ketahanan aspal terhadap deformasi air dan menganalisis perbandingan mutu komposisi campuran aspal dengan polystyrene dengan menggunakan metode eskperimen. Evaluasi dilakukan menggunakan metode Marshall untuk mengukur parameter seperti stabilitas, flow, rongga udara (VIM), rongga antar mineral agregat (VMA), dan rongga terisi aspal (VFA). Hasil menunjukkan bahwa campuran dengan 2,5% polystyrene menghasilkan performa paling optimal, khususnya dalam meningkatkan stabilitas campuran dan resistensi terhadap deformasi plastis. Temuan ini menunjukkan potensi limbah polystyrene sebagai material alternatif yang dapat memperpanjang umur layanan jalan serta mendukung keberlanjutan lingkungan.

Kata kunci: *Campuran aspal AC-WC; Polystyrene; Styrofoam; Marshall; Perkerasan Fleksibel, Material Daur Ulang.*

ABSTRACT

The growing number of vehicles in Indonesia demands improved pavement quality capable of optimally withstanding traffic loads. On the other hand, plastic waste such as polystyrene (styrofoam), which is difficult to decompose, poses a significant environmental challenge. This study examines the utilization of polystyrene waste as an additive in AC-WC asphalt mixtures to enhance technical performance while supporting environmentally friendly construction concepts. The variations of polystyrene content used were 2%, 2.5%, and 3% of the total aggregate weight. The objectives of this research are to analyze the physical properties of asphalt modified with polystyrene using the Marshall test, to determine the asphalt's resistance to water-induced deformation, and to evaluate the comparative quality of the asphalt–polystyrene mixture using an experimental method. The evaluation was carried out using the Marshall method to measure parameters such as stability, flow, air voids (VIM), voids in mineral aggregate (VMA), and voids filled with asphalt (VFA).The results indicate that the mixture containing 2.5% polystyrene provides the most optimal performance, particularly in improving mixture stability and resistance to plastic deformation. These findings demonstrate the potential of polystyrene waste as an alternative material that can extend pavement service life while supporting environmental sustainability.

Keywords: *Asphalt mix AC-WC; polystyrene; Styrofoam; Marshall test; recycled materials; sustainable pavement.*

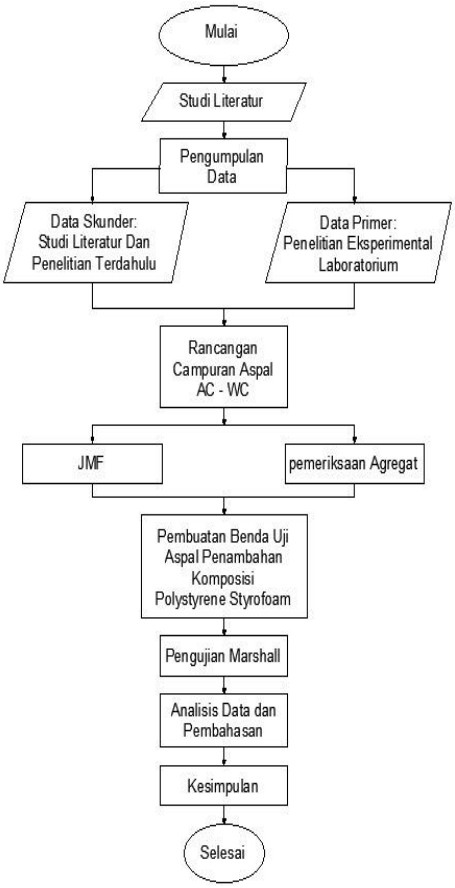
PENDAHULUAN

Pertumbuhan jumlah penduduk mendorong peningkatan mobilitas masyarakat dan jumlah kendaraan, sehingga dibutuhkan perkerasan jalan dengan kapasitas memadai untuk menampung beban lalu lintas [1]. Jalan merupakan infrastruktur vital yang mendukung aktivitas ekonomi, sosial, budaya, serta pertahanan dan keamanan negara [2], sehingga kondisi jalan yang baik diperlukan demi kelancaran pergerakan orang, barang, maupun jasa [3]. Namun, di Indonesia masih banyak dijumpai kerusakan jalan akibat beban berlebih dan sistem drainase yang kurang efektif [4]. Aspal sebagai bahan pengikat pada perkerasan fleksibel perlu ditingkatkan mutu dan kestabilannya agar mampu menunjang pelayanan lalu lintas yang aman [5]. Salah satu alternatif adalah pemanfaatan limbah plastik Polystyrene yang sulit terurai, namun berpotensi dimanfaatkan dalam bidang konstruksi sebagai bahan tambahan pada campuran aspal [6]. Penelitian ini mengeksplorasi penggunaan Polystyrene pada campuran aspal dengan metode Marshall untuk menganalisis peningkatan sifat hidrofobik dan stabilitas fleksibilitas campuran. Pemanfaatan ini diharapkan dapat memperpanjang usia jalan, mendukung pembangunan berkelanjutan, serta memberikan kontribusi empiris bagi industri infrastruktur [7].

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah Bagaimana perbandinga mutu komposisi campuran aspal tanpa menggunakan limbah plastik dengan campuran aspal yang ditambahkan plastik polystyrene sebesar 2%, 2,5%, dan 3% dari berat total agregat pada lapisan AC-WC dan Bagaimana pengaruh penambahan plastik polystyrene (PS) terhadap sifat mekanik aspal AC-WC, seperti stabilitas Marshall dan ketahanan terhadap deformasi, dengan tujuan mengetahui perbandingan karakteristik benda uji tanpa campuran plastik polystyrene dengan benda uji yang menggunakan campuran plastik polystyrene sebesar 2%, 2,5%, dan 3%, serta untuk mengidentifikasi sifat-sifat fisik aspal dan ketahanannya terhadap deformasi akibat penambahan polystyrene.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan pendekatan kuantitatif melalui pengujian laboratorium di Laboratorium Jalan, Teknik Sipil Universitas Pancasila pada Mei–Juli 2025. Bahan yang digunakan meliputi agregat kasar, agregat halus, filler, aspal keras, serta limbah plastik Polystyrene (styrofoam) sebagai bahan aditif dengan variasi kadar 2%, 2,5%, dan 3%. Peralatan penelitian terdiri dari seperangkat alat uji agregat, cetakan briket, water bath, serta alat uji Marshall. Prosedur penelitian meliputi studi literatur, pemeriksaan material, perancangan campuran aspal AC-WC konvensional untuk menentukan kadar aspal optimum (KAO), dilanjutkan dengan modifikasi campuran menggunakan variasi styrofoam. Data primer diperoleh dari hasil pengujian Marshall terhadap stabilitas, flow, dan Marshall Quotient, sedangkan data sekunder diperoleh dari literatur pendukung. Hasil analisis digunakan untuk mengevaluasi pengaruh penambahan styrofoam terhadap kinerja campuran aspal.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Dalam penelitian ini menggunakan dua data yaitu data primer dan data sekunder dengan dilakukan secara eksperimental serta memiliki jumlah sampel yaitu :

Tabel 1. Rincian Kebutuhan Jumlah Sampel Benda Uji

Presentase Aspal	Dengan Penambahan Styrofoam			Tanpa Penambahan Styrofoam
	2 %	2,5 %	3 %	
Pb – 1%	5	5	5	5
Pb – 0,5%	5	5	5	5
Pb	5	5	5	5
Pb + 0,5%	5	5	5	5
Pb + 1%	5	5	5	5

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemeriksaan agregat dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil dengan metode sesuai spesifikasi yang berlaku. Analisis menggunakan seperangkat saringan menghasilkan data distribusi ukuran butir agregat kasar dan halus, yang selanjutnya dibandingkan dengan persyaratan standar untuk memastikan kesesuaian material terhadap kebutuhan campuran aspal. Berikut hasil dari analisis agregat kasar dan halus:

Tabel 2. Hasil Pemeriksaan Analisis Agregat Kasar (Berat Contoh Kering (gr) : 1000

Ukuran Saringan	Berat Tertahan (gr)	∑ Berat Tertahan (gr)	Persentase Tertahan (%)	Persentase Lolos (%)
12,5 mm (1/2")	110,0	110,0	11,00	89,00
9,52 mm (3/8")	189,1	299,1	18,91	70,09
4,75 mm (No.4)	540,4	839,5	54,04	16,05
2,36 mm (No.8)	74,0	913,5	7,40	8,65
1,18 mm (No.16)	26,0	939,5	2,60	6,05
0,60 mm (No.30)	9,2	948,7	0,92	5,13
0,30 mm (No.50)	10,1	958,8	1,01	4,12
0,15 mm (No.100)	15,0	973,8	1,50	2,62
0,075 mm (No.200)	6,2	980,0	0,62	2,00
PAN	20,0	1000,0	2,00	0,00

Tabel 3. Hasil Pemeriksaan Analisis Agregat Halus (Berat Contoh Kering (gr) : 1000

Ukuran Saringan	Berat Tertahan (gr)	∑ Berat Tertahan (gr)	Persentase Tertahan (%)	Persentase Lolos (%)
12,5 mm (1/2")	39,2	39,2	3,92	96,08
9,52 mm (3/8")	90,0	129,2	9,00	87,08
4,75 mm (No.4)	120,3	249,5	12,03	75,05
2,36 mm (No.8)	158,8	408,3	15,88	59,17
1,18 mm (No.16)	39,2	447,5	3,92	55,25
0,60 mm (No.30)	166,1	613,6	16,61	38,64
0,30 mm (No.50)	110,2	723,8	11,02	27,62
0,15 mm (No.100)	129,3	853,1	12,93	14,69
0,075 mm (No.200)	121,3	974,4	12,13	2,56
PAN	25,6	1000,0	2,56	0,00

Berikut hasil pemeriksaan kadar air dari agregat kasar dan halus:

Tabel 4. Hasil Pemeriksaan Kadar Air Agregat Kasar

Percobaan	Percobaan I	Percobaan II
Berat Tempat (W1, gram)	534	159
Berat Tempat + Contoh Basah (W2, gram)	1536	1159
Berat Contoh Basah (W3 = W2 – W1, gram)	1002	1000
Berat Tempat + Contoh Kering Oven (W4, gram)	1513	1108
Berat Contoh Kering (W5 = W4 – W1, gram)	979	949
Kadar Air = (W3 – W5)/W3 × 100%	0,022954092	0,051000
Kadar air rata - rata (%)	0,036977046	

Tabel 5. Hasil Pemeriksaan Kadar Air Agregat Halus

Percobaan	Percobaan I	Percobaan II	Percobaan III
Berat Tempat (W1, gram)	193	163	163
Berat Tempat + Contoh Basah (W2, gram)	1381	1301	1338
Berat Contoh Basah (W3 = W2 – W1, gram)	1188	1138	1175
Berat Tempat + Contoh Kering Oven (W4, gram)	1136	1136	1175
Berat Contoh Kering (W5 = W4 – W1, gram)	943	975	1012
Kadar Air = (W3 – W5)/W3 × 100%	0,206228956	0,20123	0,205957
Kadar air rata - rata (%)	0,204472211		

Berikut hasil pemeriksaan kadar lumpur dari agregat kasar dan halus:

Tabel 6. Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Kasar

No Test	Percobaan I	Percobaan II
Berat Contoh Kering (Semula) + Tempat (gram)	1164	1159
Berat Tempat (gram)	1100	1078
Berat Contoh Kering (Semula) A (gram)	164	159
Berat Contoh Kering (Akhir) B (gram)	1000	1000
Kadar Lumpur & Lempung = ((A – B)/A) × 100%	0,064	0,081
Kadar Lumpur & Lempung Rata - Rata	0,0725	
Kesimpulan	Memenuhi	

Tabel 7. Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Halus Berdsarakan Berat

No test	Percobaan I	Percobaan II
Berat Contoh Kering (Semula) + Tempat (gram)	727	718
Berat Tempat (gram)	227	227
Berat Contoh Kering (Semula) A (gram)	500	500
Berat Contoh Kering (Akhir) B (gram)	491	491
Kadar Lumpur & Lempung = ((A – B)/A) × 100%	1,8	1,8
Kadar Lumpur & Lempung Rata - Rata	1,8	
Kesimpulan	Memenuhi	

Tabel 8. Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Halus Berdsarakan Volume

No test	Percobaan I	Percobaan II
Tinggi Total Lumpur dan Pasir (a)	183	196
Tinggi Pasir (b)	180	194
Kadar Lumpur = ((a – b)/a) × 100%	1,64	1,02
Kadar Lumpur & Lempung Rata - Rata	1,33	
Kesimpulan	Memenuhi	

Berikut hasil pemeriksaan berat jenis dari agregat kasar dan halus:

Tabel 9. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar

No Pemeriksaan	Pemeriksaan A	Pemeriksaan B
Berat Contoh Permukaan Kering (SSD) (A)	3000	3000
Berat Contoh Kering (C)	2976	2898
Berat Contoh dalam Air (B)	1988	1887
Berat Jenis Bulk = A / (B – C)	2,9	2,6
Berat Jenis SSD = B / (B-C)	3,0	2,6
Berat Jenis Semu (Apparent) = A / (A – C)	3,1	2,8
Penyerapan (Absorption) = ((B – A)/A) × 100%	1,86	3,51
Rata-rata Berat Jenis Bulk	2,8	
Rata-rata Berat Jenis SSD	2,8	
Rata-rata Berat Jenis Semu (Apparent)	3,0	
Rata-rata Penyerapan (Absorption) (%)	2,69	

Tabel 10. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus

No Pemeriksaan	Pemeriksaan A	Pemeriksaan B
Berat Contoh Permukaan Kering (SSD) (gram)	500	500
Berat Contoh Kering (Bk) (gram)	498	487
Berat Labu + Air Temperatur 25°C (gram)	659	648
Berat Labu + Contoh (SSD) + Air Temperatur 25°C (gram)	968	958
Berat Jenis (Bulk) = B/(C+500−D)	2,60733	2,563158
Berat Jenis Kering Permukaan (SSD) = 500/(C+500−D)	2,617801	2,631579
Berat Jenis Semu (Apparent) = B/(C+B−D)	2,634921	2,751412
Penyerapan (Absorption) = ((500−B)/B) × 100%	0,401606	2,669405
Rata-rata Berat Jenis Bulk	2,6	
Rata-rata Berat Jenis SSD	2,6	
Rata-rata Berat Jenis Semu (Apparent)	2,7	
Rata-rata Penyerapan (Absorption) (%)	1,53551	

Berikut hasil pemeriksaan karateristik aspal yang telah dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil :

Tabel 11. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal

Pemeriksaan	Spesifikasi	Batas Spesifikasi	Hasil	Satuan
Penetrasi (25°C, 5 detik)	SNI-06-2456-1991	Min 60 – Max 79	66,4	0,1 mm
Titik Lembek (Ring and Ball)	SNI-06-2434-1991	48 – 58	49,5	°C
Berat Jenis (25°C)	SNI-06-2441-1991	1,00 – 1,04	1,04	gr/ml
Daktilitas (25°C, 5 cm/menit)	SNI-06-2432-1991	Min 100	150	mm
Titik Nyala dan Titik Bakar	SNI-06-2433-1991	Min 200	311,5	°C
Viskositas	AASHTO-72-97	130 – 165	145	°C
Pencampuran Pemadatan	AASHTO-72-97	120 – 140	125	°C

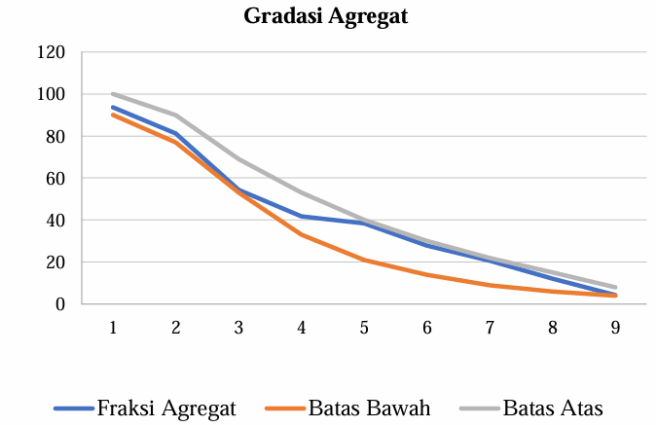
Analisa Rencana Campuran

Penentuan komposisi agregat pada campuran aspal tipe AC-WC dilakukan dengan metode *trial and error* berdasarkan spesifikasi yang berlaku. Persentase masing-masing fraksi agregat kasar (A), medium (B), halus (C), dan filler (D) dicoba hingga menghasilkan gradasi sesuai standar, dengan ketentuan total a + b + c + d = 100%. Nilai persentase akhir menunjukkan kombinasi gradasi yang memenuhi

spesifikasi umum tahun 2018.

Tabel 12. Hasil Analisis Agregat

No. Saringan (mm)	Fraksi Agregat (%)	Batas Bawah (%)	Batas Atas (%)	Keterangan
12,5 (½)	93,6096	90	100	Memenuhi
9,5 (⅜)	81,222	77	90	Memenuhi
4,75 (No. 4)	54,309	53	69	Memenuhi
2,36 (No. 8)	41,7994	33	53	Memenuhi
1,18 (No. 16)	38,433	21	40	Memenuhi
0,60 (No. 30)	27,8036	14	30	Memenuhi
0,30 (No. 50)	20,6076	9	22	Memenuhi
0,15 (No. 100)	12,051	6	15	Memenuhi
0,075 (No. 200)	4,307	4	8	Memenuhi



Gambar 2. Gradasi Agregat

Dalam merancang campuran aspal, tahap awalnya adalah menentukan kadar aspal rencana (Pb) berdasarkan ketentuan spesifikasi Bina Marga 2018 seperti berikut:

Pb = 0,035 (%CA) + 0,045 (%FA) + 0,18 (%FF) + k ...(1)

Keterangan :
Pb : kadar aspal ideal (% terhadap berat campuran)
CA : % agregat tertahan saringan No. 4
FA : % agregat lolos saringan No. 4 dan tertahan saringan No. 200
FF : filler, persentase agregat minimal 75% lolos saringan No. 200
K : Nilai konstanta (untuk laston ± 0,5)

Berikut merupakan perhitungan dari kadar aspal rencana :
CA = (100 – 64) % = 36 %
FA = (64 – 2) % = 62 %
FF = 2 % (Sesuai dengan ketentuan Spesifikasi)
Pb = 0,035 (%CA) + 0,045 (%FA) + 0,18 (%FF) + k
= 0,035 (36 %) + 0,045 (62 %) + 0,18 (2 %) + 0,5
= 4,86 % ≈ 5 %

Dengan demikian, dibuat variasi campuran beraspal untuk dua sampel dengan kadar aspal yang berada di atas nilai Pb dan dua sampel dengan kadar aspal yang berada di bawah nilai Pb. Maka diperoleh kadar aspal rencana sebagai berikut:
Pb – 1 % = 5 % – 1 % = 4 %
Pb – 0,5 % = 5 % – 0,5 % = 4,5 %
Pb = 5 % = 5 %
Pb + 0,5 % = 5 % + 0,5 % = 5,5 %
Pb + 1 % = 5 % + 1 % = 6 %

Berikut merupakan detail mengenai variasi campuran kadar aspal rencana, serta berat masing-masing campuran dapat dilihat pada Tabel di bawah ini :

Tabel 13. Variasi Campuran Kadar Aspal 0 % Tanpa Styrofoam (lanjutan)

Variasi	Kadar Aspal Rencana (%)	Berat Sampel (gr)	Berat Kadar Aspal (gr)	Berat Agregat Kasar (36%) (gr)	Berat Agregat Halus (62%) (gr)	Berat Agregat Filler (2%) (gr)
1	4,0	1200	48	415	714	23
2	4,5	1200	54	413	711	23
3	5,0	1200	60	410	707	23
4	5,5	1200	66	408	703	23
5	6,0	1200	72	406	699	23

Tabel 14. Variasi Campuran Kadar Aspal 2 % Dengan *Styrofoam*

Variasi	Kadar Aspal Rencana (%)	Berat Sampel (gr)	Berat Styrofoam 2% (gr)	Berat Kadar Aspal (gr)	Berat Agregat Kasar (36%) (gr)	Berat Agregat Halus (60%) (gr)	Berat Agregat Filler (2%) (gr)
1	4,0	1200	23	48	415	691	23
2	4,5	1200	23	54	413	688	23
3	5,0	1200	23	60	410	684	23
4	5,5	1200	23	66	408	680	23
5	6,0	1200	23	72	406	677	23

Tabel 15. Variasi Campuran Kadar Aspal 2,5 % Dengan *Styrofoam*

Variasi	Kadar Aspal Rencana (%)	Berat Sampel (gr)	Berat Styrofoam 2,5% (gr)	Berat Kadar Aspal (gr)	Berat Agregat Kasar (36%) (gr)	Berat Agregat Halus (59,5%) (gr)	Berat Agregat Filler (2%) (gr)
1	4,0	1200	29	48	415	685	23
2	4,5	1200	29	54	413	682	23
3	5,0	1200	29	60	410	678	23
4	5,5	1200	28	66	408	675	23

Tabel 16. Variasi Campuran Kadar Aspal 3 % Dengan *Styrofoam*

Variasi	Kadar Aspal Rencana (%)	Berat Sampel (gr)	Berat Styrofoam 3% (gr)	Berat Kadar Aspal (gr)	Berat Agregat Kasar (36%) (gr)	Berat Agregat Halus (59%) (gr)	Berat Agregat Filler (2%) (gr)
1	4,0	1200	35	48	415	680	23
2	4,5	1200	34	54	413	676	23
3	5,0	1200	34	60	410	673	23
4	5,5	1200	34	66	408	669	23
5	6,0	1200	34	72	406	666	23

Setelah melakukan perhitungan variasi kadar aspal yang telah direncanakan, selanjutnya dibuat sampel benda uji untuk diuji dengan alat marshall agar dapat mengetahui nilai flow dan stabilitas yang terdapat dalam benda uji tersebut seperti di bawah ini :

Tabel 17. Hasil Pengujian Marshall 0 % Tanpa *Styrofoam.*

Kadar Aspal	No. Benda Uji	Stabilitas (Kg)	Kelelehan (mm)
4,0	1	1891,17	2,8
	2	1540,96	2,0
	3	1540,96	2,0
	4	1611,00	2,8
	5	1863,16	2,8
Rata-rata		1689,45	2,48
4,5	1	1793,11	2,7
	2	2003,24	3,2
	3	1709,06	2,7
	4	2171,35	3,6
	5	2003,24	3,2
Rata-rata		1936,00	3,08
5,0	1	2031,26	3,5
	2	1709,06	2,7
	3	1989,23	3,2
	4	1681,04	2,7
	5	2409,50	3,8
Rata-rata		1964,02	3,18
5,5	1	1653,03	2,3
	2	1961,22	3,5
	3	2101,30	3,6
	4	1961,22	3,5
	5	2031,26	3,5
Rata-rata		1941,61	3,28
6,0	1	1821,13	3,4
	2	2381,48	3,7
	3	2101,30	3,6
	4	1961,22	3,4
	5	1961,22	3,4
Rata-rata		2045,27	3,50

Tabel 18. Hasil Pengujian Marshall 2 % Tanpa *Styrofoam.*

Kadar Aspal	No. Benda Uji	Stabilitas (Kg)	Kelelehan (mm)
4,0	1	1849,15	3,1
	2	2031,26	3,3
	3	2157,34	3,4
	4	2101,30	3,4
	5	1919,19	3,2
Rata-rata		2011,65	3,28
4,5	1	2017,25	3,3
	2	1947,21	3,1
	3	2017,25	3,3
	4	2171,35	3,6
	5	2087,30	3,5
Rata-rata		2048,07	3,36
5,0	1	2031,26	3,1
	2	2087,30	3,2
	3	1961,22	2,8
	4	1919,19	2,8
	5	2171,35	3,3
Rata-rata		2034,06	3,04
5,5	1	1821,13	2,7
	2	1793,11	2,6
	3	1947,21	2,9
	4	1877,17	2,8
	5	2031,26	3,2
Rata-rata		1893,98	2,84
6,0	1	1863,16	2,9
	2	2045,27	3,3
	3	2101,30	3,5
	4	1989,23	3,2
	5	1947,21	3,0
Rata-rata		1989,23	3,18

Tabel 19. Hasil Pengujian Marshall 3 % Tanpa *Styrofoam.*

Kadar Aspal	No. Benda Uji	Stabilitas (Kg)	Kelelehan (mm)
4,0	1	2591,61	4,0
	2	2507,56	3,8
	3	2563,59	3,9
	4	2661,65	4,1
	5	2717,69	4,3
Rata-rata		2608,42	4,02

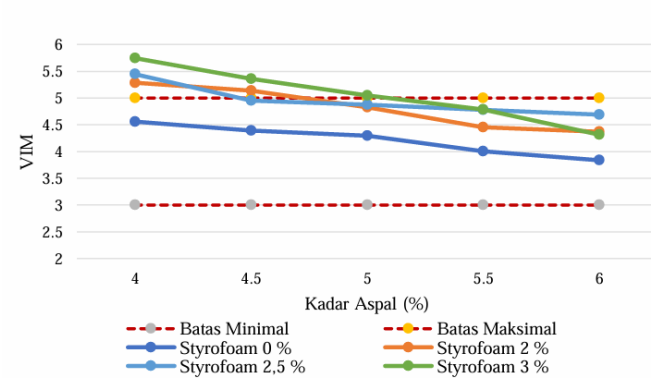
Kadar Aspal	No. Benda Uji	Stabilitas (Kg)	Kelelehan (mm)
4,5	1	2241,39	3,5
	2	2199,37	3,3
	3	2381,48	3,8
	4	2451,52	3,9
	5	2283,42	3,6
Rata-rata		2311,43	3,62
5,0	1	2241,39	3,4
	2	2507,56	3,9
	3	2451,52	3,8
	4	2353,46	3,6
	5	2311,43	3,5
Rata-rata		2373,07	3,64
5,5	1	2171,35	3,2
	2	2353,46	3,4
	3	2227,38	3,3
	4	2479,54	3,7
	5	2101,30	3,1
Rata-rata		2266,61	3,34
6,0	1	2325,44	3,5
	2	2199,37	3,3
	3	2521,57	3,9
	4	2395,49	3,6
	5	2353,46	3,5
Rata-rata		2359,06	3,56

Void in the Mix

VIM (Void in the Mix) mengacu pada rongga udara yang ada dalam campuran aspal padat setelah dipadatkan, yaitu campuran antara agregat dan aspal. Jika nilai VIM semakin kecil, berarti kemampuan campuran untuk menahan air semakin baik.

Tabel 20. Hasil Nilai VIM

Kadar Aspal	Styrofoam 0%	Styrofoam 2%	Styrofoam 2,5%	Styrofoam 3%	Syarat (3 – 5%)
4,0	4,56	5,29	5,45	5,75	3 – 5
4,5	4,39	5,14	4,95	5,36	3 – 5
5,0	4,29	4,83	4,87	4,78	3 – 5
5,5	5,05	4,00	4,45	4,78	3 – 5
6,0	3,84	4,37	4,69	4,31	3 – 5



Gambar 2. Hasil Nilai VIM

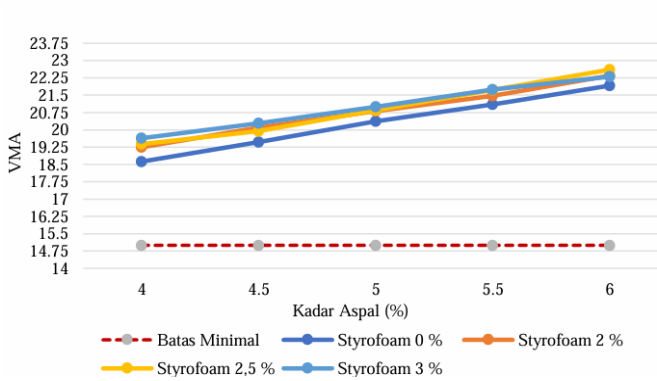
Dari tabel dan grafik di atas terlihat bahwa terdapat lima Variasi kadar aspal yang digunakan adalah 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, dan 6% dengan penambahan bahan aditif styrofoam. Pada penambahan styrofoam 0%, seluruh kadar aspal memenuhi syarat dengan nilai VIM 3,84–4,56. Pada styrofoam 2%, kadar 4% dan 4,5% tidak memenuhi syarat (5,29 dan 5,14) akibat pemadatan kurang sempurna, sedangkan kadar 5–6% sesuai (4,37–4,83). Pada styrofoam 2,5%, kadar 4% tidak memenuhi syarat (5,45), sementara 4,5–6% memenuhi (4,69–4,95). Pada styrofoam 3%, kadar 4–5% tidak sesuai (5,75; 5,36; 5,05), sedangkan 5,5% dan 6% masih memenuhi syarat (4,78 dan 4,31).

Void In Mineral Aggregate

Nilai VMA kurang dari 15 % bisa membuat lapisan aspal yang menutupi agregat menjadi terlalu tipis dan rentan teroksidasi, namun jika kadar aspal terlalu tinggi, maka akan terjadi peristiwa bleeding. Berikut merupakan tabel dan grafik pada nilai VMA:

Tabel 21. Hasil Nilai VIM

Kadar Aspal	Styrofoam 0%	Styrofoam 2%	Styrofoam 2,5%	Styrofoam 3%	Syarat (%)
4,0 %	18,63	19,25	19,38	–	≥15
4,5 %	19,64	19,47	20,10	19,95	≥15
5,0 %	20,37	20,81	20,85	20,29	≥15
5,5 %	21,00	21,10	21,46	21,73	≥15
6,0 %	21,91	22,35	22,61	22,30	≥15



Gambar 3. Hasil Nilai VMA

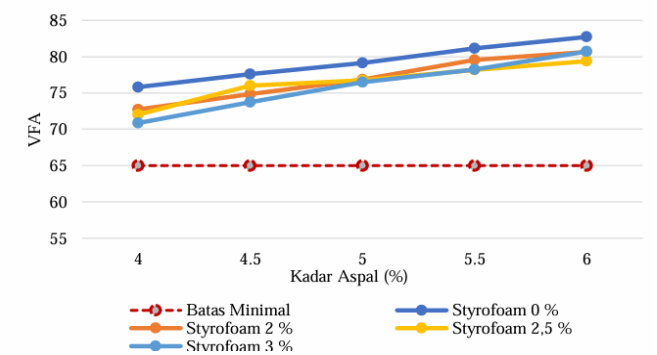
Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi kadar aspal 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, dan 6% baik tanpa maupun dengan penambahan styrofoam menghasilkan nilai VMA yang cenderung meningkat seiring bertambahnya kadar aspal. Pada campuran tanpa styrofoam nilai VMA berkisar 18,63–21,91%, dengan styrofoam 2% sebesar 19,25–22,35%, styrofoam 2,5% sebesar 19,38–22,61%, dan styrofoam 3% sebesar 19,64–22,30%. Seluruh variasi memenuhi persyaratan minimum VMA 15% sesuai spesifikasi, sehingga campuran dinyatakan layak.

VFA

. Nilai VFA memengaruhi sifat kedap air dan udara serta sifat elastisitas dari campuran. Nilai VFA terlalu rendah (< 65%) maka campuran bisa terjadi retak atau rapuh.

Tabel 22. Hasil Nilai VFA

Kadar Aspal	VFA Styrofoam 0%	VFA Styrofoam 2%	VFA Styrofoam 2,5%	VFA Styrofoam 3%	Syarat (%)
4,0	75,81	72,73	72,02	70,86	≥ 65
4,5	77,57	74,85	76,03	73,73	≥ 65
5,0	79,13	76,84	76,75	78,22	≥ 65
5,5	76,51	81,12	79,53	78,19	≥ 65
6,0	82,72	80,64	79,38	80,72	≥ 65



Gambar 4. Hasil Nilai VFA

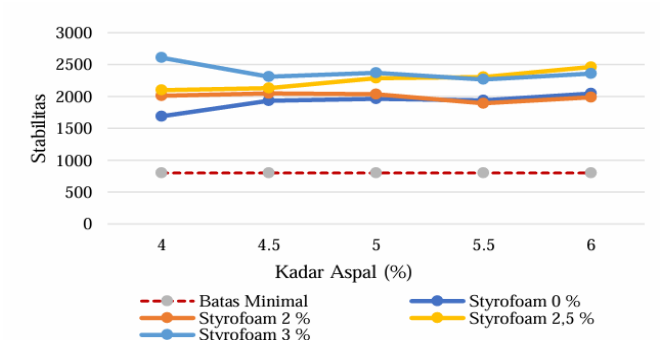
Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi kadar aspal 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, dan 6% baik tanpa maupun dengan penambahan styrofoam menghasilkan nilai VFA yang meningkat dan seluruhnya memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018. Pada campuran tanpa styrofoam, nilai VFA berada pada kisaran 75,81–82,72%, sedangkan dengan penambahan styrofoam 2% sebesar 72,73–80,64%, styrofoam 2,5% sebesar 72,02–79,38%, dan styrofoam 3% sebesar 70,86–80,72%.

Stabilitas

Data mengenai stabilitas diperoleh langsung dari hasil pengujian menggunakan alat Marshall Test dalam proses uji Marshall. Berikut adalah nilai stabilitas yang didapatkan, yang ditampilkan dalam tabel dan grafik di bawah ini.

Tabel 23. Hasil Nilai Stabilitas

Kadar Aspal	Stabilitas Styrofoam 0% (Kg)	Stabilitas Styrofoam 2% (Kg)	Stabilitas Styrofoam 2,5% (Kg)	Stabilitas Styrofoam 3% (Kg)	Syarat (Kg)
4,0	1689,45	2011,65	2098,50	2608,42	≥ 800
4,5	1936,00	2048,07	2132,12	2311,43	≥ 800
5,0	1964,02	2034,06	2286,22	2373,07	≥ 800
5,5	1941,61	1893,98	2305,83	2266,61	≥ 800
6,0	2045,27	1989,23	2462,73	2359,06	≥ 800



Gambar 5. Hasil Nilai Stabilitas

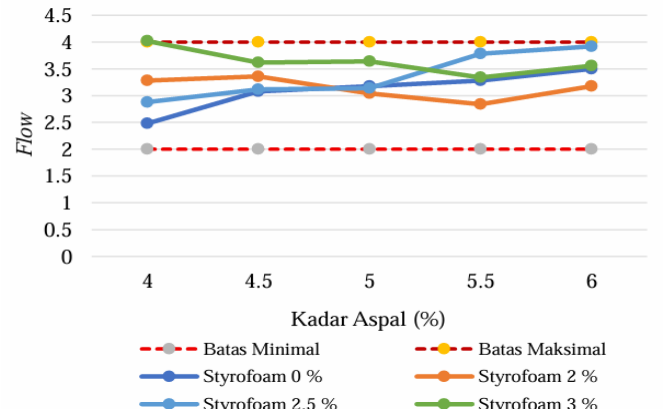
Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi kadar aspal 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, dan 6% dengan penambahan styrofoam menghasilkan nilai stabilitas yang seluruhnya memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018. Pada campuran tanpa styrofoam nilai stabilitas berkisar 1689,45–2045,27 kg, dengan styrofoam 2% sebesar 1893,98–2048,07 kg, styrofoam 2,5% sebesar 2098,50–2462,73 kg, dan styrofoam 3% sebesar 2266,61–2608,42 kg.

Kelelehan

Jika nilai flow terlalu tinggi, dapat menunjukkan adanya kelebihan aspal yang berpotensi menyebabkan peristiwa bleeding. Sementara itu, nilai flow yang terlalu rendah menandakan kurangnya fleksibilitas campuran aspal, yang juga bisa menimbulkan masalah dalam performa jalan.

Tabel 24. Hasil Nilai Kelelehan

Kadar Aspal	Styrofoam 0%	Styrofoam 2%	Styrofoam 2,5%	Styrofoam 3%	Syarat (mm)
4	2,48	3,28	2,88	4,02	2 – 4
4,5	3,08	3,36	3,12	3,62	2 – 4
5	3,18	3,04	3,14	3,34	2 – 4
5,5	3,64	3,28	2,84	3,78	2 – 4
6	3,50	3,18	3,92	3,56	2 – 4



Gambar 6. Hasil Nilai Kelelehan

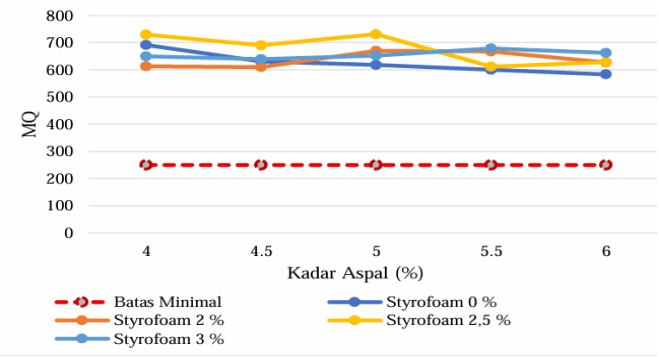
Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi kadar aspa 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, dan 6% dengan penambahan styrofoam 0%, 2%, 2,5%, dan 3% pada umumnya memenuhi syarat kelelehan sesuai spesifikasi Bina Marga 2018. Nilai kelelehan pada campuran tanpa styrofoam berkisar 2,48–3,50 mm, styrofoam 2% sebesar 2,84–3,36 mm, dan styrofoam 2,5% sebesar 2,88–3,92 mm. Namun, pada kadar aspal 4% dengan styrofoam 3% nilai kelelehan mencapai 4,02 mm sehingga tidak memenuhi persyaratan.

Marshall Quotient

Marshall Quotient adalah perbandingan antara tingkat stabilitas dan kelelehan dari campuran aspal, yang digunakan sebagai indikator empiris mengenai kekuatan campuran tersebut

Tabel 25. Hasil Marshall Quotient

Kadar Aspal (%)	Styrofoam 0%	Styrofoam 2%	Styrofoam 2,5%	Styrofoam 3%	Syarat (kg/mm)
4	691,43	612,86	730,18	690,96	≥ 300
4,5	649,26	630,46	610,05	639,29	≥ 300
5	618,33	670,27	731,34	678,74	≥ 300
5,5	652,30	600,69	668,16	611,52	≥ 300
6	583,32	626,66	628,52	663,05	≥ 300



Gambar 7. Hasil Marshall Quotient

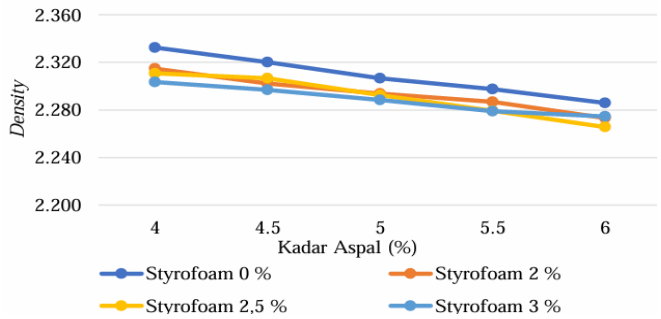
Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi kadar aspal 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, dan 6% dengan penambahan styrofoam 0%, 2%, 2,5%, dan 3% menghasilkan nilai Marshall Quotient yang seluruhnya memenuhi syarat spesifikasi Bina Marga 2018. Nilai Marshall Quotient pada campuran tanpa styrofoam berkisar antara 583,31–691,43 kg/mm, pada styrofoam 2% sebesar 610,05–670,27 kg/mm, pada styrofoam 2,5% sebesar 611,52–731,34 kg/mm, dan pada styrofoam 3% sebesar 639,29–678,74 kg/mm

Pengujian Density

Hasil dari pengujian kepadatan ini bertujuan memastikan aspal sudah dipadatkan dengan benar dan memenuhi standar yang berlaku, sehingga menghasilkan permukaan jalan yang tahan lama dan kuat.

Tabel 26. Hasil Nilai *Density*

Kadar Aspal	Styrofoam 0%	Styrofoam 2%	Styrofoam 2,5%	Styrofoam 3%
4	2,332	2,315	2,311	2,303
4,5	2,320	2,302	2,307	2,297
5	2,307	2,294	2,293	2,288
5,5	2,298	2,287	2,279	2,279
6	2,286	2,273	2,266	2,274

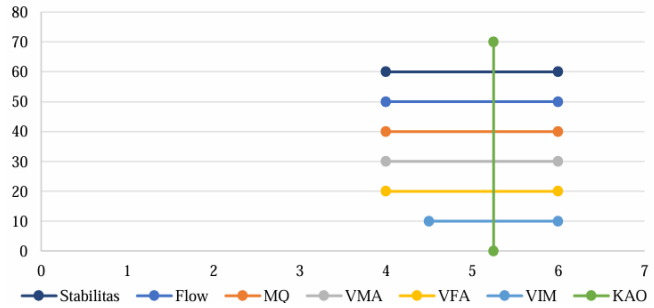


Gambar 8. Hasil Nilai *Density*

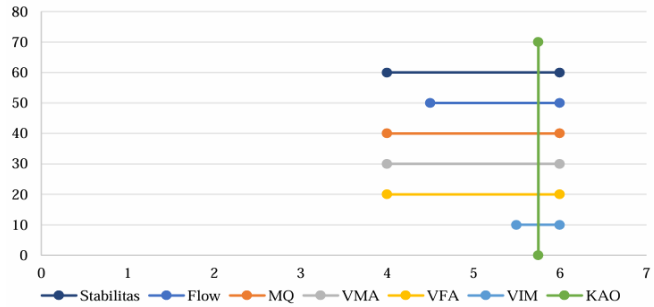
Dari tabel dan grafik diatas dapat terlihat ada 5 variasi kadar aspal dengan menggunakan bahan aditif yang akan digunakan dalam penelitian ini, yaitu 4 %, 4,5%, 5 %, 5,5%, dan 6 %. Hasil dari data tersebut bahwa nilai density memenuhi spesifikasi bina marga 2018.

Kadar Aspal Optimum

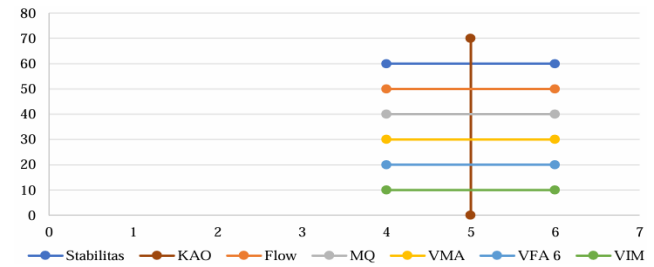
Berikut Grafik Kadar Aspal Optimum (KAO) pada Campuran aspal :



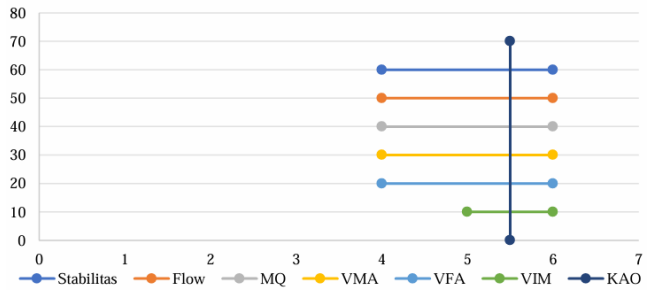
Gambar 9. KAO Tanpa Styrofoam



Gambar 10. KAO Dengan Styrofoam 2%



Gambar 11. KAO Dengan Styrofoam 2,5%



Gambar 12. KAO Dengan Styrofoam 3%

Berdasarkan hasil dari grafik di atas, kadar aspal yang optimal pada campuran tanpa penambahan limbah styrofoam adalah 5%, sedangkan pada campuran yang dicampur dengan limbah styrofoam sebanyak 2 % adalah 5,5 %, limbah styrofoam sebanyak 2,5 % adalah 5,25 %, limbah styrofoam sebanyak 3 % adalah 5,75 %.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapat dari penelitian tugas akhir ini yaitu berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa penambahan limbah polystyrene (styrofoam) sebesar 2,5% ke dalam campuran aspal AC-WC memberikan pengaruh signifikan dibandingkan dengan campuran aspal konvensional. Pada kadar ini, campuran menunjukkan peningkatan nilai stabilitas Marshall hingga 2462,73 kg serta ketahanan yang lebih baik terhadap deformasi plastis. Dan hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan limbah polystyrene (styrofoam) pada campuran aspal AC-WC berpengaruh signifikan terhadap karakteristik mekanik campuran berdasarkan parameter uji Marshall. Dari tiga variasi kadar yang diuji, yaitu 2%, 2,5%, dan 3% dari total berat agregat, penambahan sebesar 2,5% memberikan performa campuran paling optimal. Pada kadar tersebut, campuran menunjukkan nilai Marshall sebesar 731,34 kg pada kadar aspal optimum 5,25%. Dengan demikian, kadar 2,5% dapat direkomendasikan sebagai komposisi paling efektif untuk meningkatkan performa campuran aspal AC-WC berdasarkan metode uji Marshall.

DAFTAR PUSTAKA

[1] E. F. Hartono and N. Rachmat, "Klasifikasi Jenis Plastik HDPE, LDPE, dan PS Berdasarkan Tekstur Menggunakan Metode Support Vector Machine," JATISI (Jurnal Tek. Inform. dan Sist. Informasi), vol. 9, no. 2, pp. 1403–1412, 2022, doi: 10.35957/jatisi.v9i2.2470.

[2] Supriyanto, S. W. Mudjanarko, Koespiadi, and A. D. Limantara, "Studi penggunaan variasi campuran material plastik jenis high density polyethylene (HDPE) ada campuran beraspal untuk lapis Aus Ac-Wc (Asphalt Concrete Wearing Course)," Paduraksa, vol. 8, no. 2, pp. 222–233, 2019.

[3] O. D. Yanti, "Pengaruh Penggunaan Aspal Terhadap Perubahan Suhu Pada Laston Ac Wc," vol. 13, no. 01, 2018.

[4] N. M. Y. Leweherilla, J. Amahoru, and Kelbulan Maria., "Analisis Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Dengan Menggunakan Motode Manual Desain Perkerasan (MDP) 2018 Pada Ruas Jalan Desa Lauran Kecamatan Tanimabr Selatan Kabupaten Kepulauan Tanimbar," Anal. Perenc. Tebal Perkerasan Lentur Dengan Menggunakan Motode Man. Desain Perkerasan 2018 Pada Ruas Jalan Desa Lauran Kec. Tanimabr Selatan Kabupaten Kepul. Tanimbar, vol. VOL 8, no. NO 1, p. 8, 2022.

[5] Adnan Adnan, Mirsandy Mirsandy, and Hamka Hamka, "Studi Eksprimental Dengan Metode Marshall Pemanfaatan Plastik Polystyrene Sebagai Bahan Aspal AC-BC," Globe Publ. Ilmu Tek. Teknol. Kebumian, Ilmu Perkapalan, vol. 2, no. 2, pp. 73–87, 2024, doi: 10.61132/globe.v2i2.258.

[6] R. W, Anwar, and S. Yuda, "Jurnal SIPILsains," J. Sipilsains, vol. 10 2, no. September, pp. 151–156, 2020,[Online].ipb.ac.id/index.php/p2wd/article/view/22930

[7] E. Eka Putri and Syamsuwirman, "Tinjauan Subtitusi Styrofoam Pada Aspal Pen. 60/70 Terhadap Kinerja Campuran Asphalt Concrete-Wearing Course (Ac-Wc)," J. Tek. Sipil , vol. 6, no. 1, pp. 105–114, 2016.

[8] M. Juniarti, S. Widodo, and D. Akhmadali, "Perencanaan Perkerasan Jalan Dengan Metode Bina

Marga 2002 dan Metode Bina Marga 2011 (Studi Kasus: Jl. Drs. Moh. Hatta. Sungai Rengas Kec. Sungai Kakap, Kab. Kubu Raya)," J. PWK, Laut, Sipil, Tambang, vol. Volume 8, no. No 2, pp. 1–8, 2021.

[9] Safariadi, H. K. Erwan, and Akhmadali, "Karakteristik Campuran Beraspal (Laston) Akibat Penggunaan Instant Powder Sebgaai Pengganti Filler," J. PWK, Laut, Sipil, Tambang, vol. 5, no. 1, pp. 1–15, 2018, [Online]. Available: http://jurnal.untan.ac.id/index.php/JMHMS/article/view/24203

[10] I. Hadijah and L. Sriharyani, "ANALISIS PENGUJIAN MARSHALL PADA ASPHALT CONCRETE-," vol. 12, no. 1, pp. 109–123, 2022.

[11] E. Adly, "Styrofoam sebagai Pengganti Aspal Penetrasi 60 / 70 dengan Kadar 0 %," Centre.Civil Electr. Eng. J., vol. 11, no. 1, pp. 41–49, 2016.

[12] R. Septiani, S. M. Saleh, and L. Lulusi, "Penggunaan Styrofoam dan Abu Serbuk Kayu pada Campuran Laston Lapis Aus dengan Metode Pencampuran Basah," J. Civ. Eng. Student, vol. 3, no. 1, p. 63, 2021, doi: 10.24815/journalces.v3i1.11924.

[13] B. Afriyanto, E. W. Indriyati, and P. Hardini, "Pengaruh Limbah Plastik Low Density Polyethylene Terhadap Karakteristik Dasar Aspal," J. Transp., vol. 19, no. 1, pp. 59–66, 2019, doi: 10.26593/jt.v19i1.3263.59-66.

[14] P. Penggunaan and A. Alam, "KARAKTERISTIK CAMPURAN ASPAL HRS BASE BERDASARKAN PENGUJIAN PARAMETER," vol. 2022, no. Senastika, 2022.

[15] Bina Marga, "Spesifikasi umum 2010," Direktorat Jendral Bina Marga, vol. 2010, no. Revisi 3, pp. 1–6, 2010.