

PENGARUH PENGGUNAAN LIMBAH PLASTIK DENGAN TIPE POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET) SEBAGAI SUBSTITUSI AGREGAT PADA CAMPURAN ASPAL BERPORI

Muhammad Dony Maulana¹, Adhi Surya², Tezar Aulia Rachman³

Universitas Islam Kalimantan, Indonesia

email@gmail.com, email@kampus.ac.id

(Disubmit: 12 Juni 2024 | Diterima: 23 Juni 2024 | Dipublikasikan: 29 Juni 2024)

ABSTRAK

Di era globalisasi ini, penggunaan kemasan plastik tidak bisa lepas dalam kehidupan sehari-hari. Jumlah konsumsi plastik terus meningkat setiap tahunnya. Namun, limbah plastik yang semakin menumpuk belum dimanfaatkan sebaik mungkin. Selain sulit terurai dengan tanah, plastik juga apabila dibakar asap yang ditimbulkan dapat merusak kesehatan, proses daur-ulangan plastik pun hanya merubah plastik menjadi sesuatu yang baru yang ketika barang tersebut tidak terpakai lagi maka akan kembali menjadi sampah namun penelitian ini akan mencampurkan limbah plastik jenis PET pada aspal porous

Pengujian dilakukan di Laboratorium Struktur Teknik Sipil Universitas Islam Kalimantan Muhammad Arsyad Al Banjari, Kalimantan Selatan. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimental, dimana campuran plastik dengan variasi presentase agregat kasar plastik (10%, 20%, dan 30%) disiapkan diuji menggunakan uji Marshall, Cantabro Loss, dan Permeabilitas.

Jadi dari hasil penelitian ini semua variasi plastik PET yang memenuhi spesifikasi adalah nilai Stabilitas, Flow, Kekakuan, dan Cantabro Loss. Sedangkan Kadar Rongga dan Permeabilitas 20% dan 30% belum memenuhi spesifikasi AAPA 2004. Jadi dapat disimpulkan bahwa semakin meningkat persentase plastik PET pada aspal maka akan menutupi rongga pada benda uji aspal pori, namun sebaliknya semakin meningkat nya persentase plastik PET maka akan meningkat nya hasil dari Stabilitas, Kelelahan (Flow), dan Cantabro Loss pada benda uji aspal pori..

Kata Kunci: Sampah plastik, Agregat kasar plastik, Aspal, Material

ABSTRACT

In this era of globalization, the use of plastic packaging cannot be separated from daily life. The amount of plastic consumption continues to increase every year. However, the accumulating plastic waste has not been utilized optimally. Besides being difficult to decompose in soil, burning plastic can produce smoke that is harmful to health, and the recycling process only converts plastic into new products, which will eventually become waste again when they are no longer in use. This research aims to incorporate PET plastic waste into porous asphalt.

The testing was conducted at the Structural Laboratory of Civil Engineering, Universitas Islam Kalimantan Muhammad Arsyad Al Banjari, South Kalimantan. The research method used was experimental, where the mixture of plastic with varying percentages of coarse plastic aggregate (10%, 20%, and 30%) was prepared and tested using the Marshall Test, Cantabro Loss Test, and Permeability Test.

The results of this study show that all PET plastic variations met the specifications for Stability, Flow, Stiffness, and Cantabro Loss. However, the Void Content and Permeability for 20% and 30% did not meet the AAPA 2004 specifications. Thus, it can be concluded that as the percentage of PET plastic in the asphalt increases, it will fill the voids in the porous asphalt test objects. Conversely, increasing the percentage of PET plastic also improves the Stability, Flow, and Cantabro Loss results in the porous asphalt test objects.

Keywords: Plastic waste, Coarse plastic aggregate, Asphalt, Material

PENDAHULUAN

Permasalahan lingkungan hidup yang terjadi di berbagai daerah pada saat ini adalah penurunan daya dukung lingkungan sebagai akibat rendahnya kesadaran masyarakat terhadap pentingnya pengelolaan lingkungan hidup. Hal ini dipicu oleh beberapa faktor, antara lain

perubahan fungsi dan tatanan lingkungan, penurunan daya dukung lingkungan dan mutu lingkungan, tidak adanya keterpaduan pengelolaan sumber daya manusia, alam, dan buatan dalam pengelolaan lingkungan hidup antar berbagai pihak, kurang optimalnya pemanfaatan ruang kota, serta pencemaran lingkungan yang dihasilkan oleh adanya sampah (Ariefahnoor et al, Adhi Surya., 2020)

Di era globalisasi ini, penggunaan kemasan plastik tidak bisa lepas dalam kehidupan sehari-hari. Jumlah konsumsi plastik terus meningkat disetiap tahunnya. Namun, limbah plastik yang semakin menumpuk belum dimanfaatkan sebaik mungkin. Selain sulit terurai dengan tanah, plastik juga apabila dibakar asap yang ditimbulkan dapat merusak kesehatan, proses pendaur-ulangan plastik pun hanya merubah plastik menjadi sesuatu yang baru yang ketika barang tersebut tidak terpakai lagi maka akan kembali menjadi sampah namun penelitian ini akan mencampurkan limbah plastik jenis PET pada aspal porus.

Campuran aspal porus tersebut biasanya mempunyai stabilitas yang kurang baik dan sangat bergantung pada kualitas aspal sebagai pengikat agregat, sehingga diperlukan aspal yang berkualitas tinggi yaitu aspal modifikasi dengan bahan tambah substitusi agregat plastik PET. Aspal modifikasi adalah aspal yang dibuat dengan mencampurkan aspal keras dengan bahan tambah substitusi agregat plastik PET. Tujuan penambahan ini adalah untuk memperbaiki sifat fisik aspal, meliputi penetrasi, kekentalan (viscosity), dan temperatur pelunakan (Anonim, 2004).

Penelitian ini menganalisis pemanfaatan botol plastik bekas sebagai pengganti agregat aspal porus. Penelitian ini menggunakan metode uji laboratorium, untuk menganalisis penggunaan botol plastik bekas sebagai bahan substitusi pada aspal porus. Pada penelitian di laboratorium mengamati dan mengevaluasi proporsi yang memenuhi spesifikasi dari campuran aspal porus. Data yang dihasilkan kemudian

digunakan untuk membuat desain campuran. Ciri-ciri kombinasi tersebut kemudian ditentukan dengan membuat suatu benda uji (briket) untuk uji Marshall, Cantabro Loss, dan Permeabilitas. sehingga diperoleh karakteristik campuran tersebut. (Saleh et al., 2014).

METODE

Waktu dan Tempat Pelaksanaan Penelitian

Metodologi penelitian yang dilakukan adalah dengan metode eksperimental yang dimana tempat pelaksanaan penelitian dan pengujian kuat tekan dilakukan di Laboratorium Struktur Teknik Sipil Universitas Islam Kalimantan Muhammad Arsyad Al Banjari, Kalimantan Selatan. Untuk tempat pelelehan limbah plastik juga dilakukan di Laboratorium yang sama.

Tahap Pengumpulan Data

Data diperoleh dari pengamatan langsung dan data dari instansi terkait, sehingga penelitian tersebut menggunakan data primer dan data sekunder. Untuk diolah agar dapat memberikan informasi yang diinginkan dan membant dalam pengambilan keputusan.

1. Data Primer

Data primer dalam penelitian ini adalah data penelitian hasil uji yang pemeriksaan agregat kasar, agregat halus, pemeriksaan aspal dan uji abrasi

2. Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang dikumpulkan dari data yang telah ada sebelumnya. Data sekunder bisa melalui berbagai sumber seperti jurnal atau dokumen pemerintah yang terkait. Data sekunder penelitian ini yaitu studi literatur.

Bahan dan Alat Penelitian

1. Persiapan dan Penyediaan Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

- a) Agregat batu pecah dari Awang Bangkal.
- b) Aspal penetrasi 60/70.
- c) Plastik PET.

2. Pengujian yang Dilakukan

Alat yang akan digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Alat pengujian agregat
 - a) Mesin Los Angeles (Tes Abrasi)
 - b) Alat pengering (Oven).
 - c) Timbangan berat.
 - d) Piknometer.
 - e) Satu set saringan gradasi.
2. Alat pengujian aspal
 - a) Alat uji penetrasi.
 - b) Alat uji berat jenis (Piknometer dan timbangan).
 - c) Alat uji titik lembek.
3. Alat uji karakteristik Marshall
 - a) Alat tekan Marshall yaitu dengan kepala penekan berbentuk melengkung, cincin penguji kapasitas sebesar (5000 lb) yang dilengkapi dengan arloji pengukur flowmeter.
 - b) Alat cetak yang berbentuk silinder dengan dimensi diameter 4 inci dan tinggi 3 inci.
 - c) Alat pemadat manual dengan permukaan rata berbentuk silinder dengan diameter 9,8 cm, berat 4,5 kg (10 lb) dengan r sama dengan tinggi jatuh bebas 45,7 cm (18 inci).
 - d) Ejektor atau dongkrak untuk mengeluarkan benda uji setelah dipadatkan.
 - e) Bak perendaman.
4. Alat Uji Cantabro Loss
 Peralatan yang digunakan untuk pembuatan benda uji Cantabro Loss adalah peralatan yang sama dengan pembuatan benda uji Marshall. Sedangkan peralatan yang digunakan untuk pengujian Cantabro Loss adalah mesin Los Angeles tanpa bola baja dan timbangan digital dengan ketelitian 0,001 gr.
5. Alat Uji Permeabilitas
 Seperangkat alat uji permeabilitas (Compaction Permeameter), yang meliputi tabung dengan diameter 10,16 cm dan tinggi 80 cm, bak air, 2 buah statif, klem permeabilitas, stopwatch.
6. Alat penunjang lainnya ada wajan penggorengan, kompor pemanas, spatula atau pengaduk, sarung tangan, kain lap, ember, timbangan, termometer, jangka sorong atau penggaris, cat atau tip ex untuk menandai benda uji.

3. Tahap-Tahap Penelitian

Berikut tahap-tahap dari penelitian ini adalah:

- a. Tahap Persiapan
 Tahap ini merupakan tahap untuk menyiapkan segala bahan dan alat yang akan digunakan pada saat penelitian.
- b. Studi Literatur
 Studi literatur digunakan sebagai referensi teori yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan. Referensi ini didapatkan dari buku, jurnal, artikel, dan laporan penelitian.
- c. Pengambilan Bahan Penelitian
 Pada tahap ini dilakukan proses penyiapan bahan dan pengecekan peralatan yang akan digunakan. Persiapan bahan meliputi agregat kasar dari Mandi Angin, agregat halus, filler, aspal penetrasi 60/70, dan semua bahan yang dibutuhkan, lalu didatangkan ke Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Islam Kalimantan Muhammad Arsyad Al Banjari untuk dilakukan pengujian dan penelitian.
- d. Pengujian Bahan
 Sebelum bahan digunakan pada campuran perkerasan harus dilakukan serangkaian pengujian, antara lain sebagai berikut.
 - 1) Pengujian agregat
 Salah satu dari komponen utama dari lapis perkerasan jalan raya adalah agregat. Daya dukung, mutu, kualitas dan keawetan suatu perkerasan sangat ditentukan dari agregat. Maka dari itu perlu dilakukan pengujian terhadap agregat baik terhadap agregat kasar maupun agregat halus. Pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

- a. Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat
Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis (bulk), berat kering permukaan jenuh (Saturated Surface Dry = SSD) dan berat jenis semu (apparent), serta penyerapan dari agregat halus.
 - b. Pengujian kelekatan agregat terhadap aspal
Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan kelekatan agregat terhadap aspal.
 - c. Pengujian keausan agregat
Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap keausan dengan menggunakan mesin Los Angeles.
 - d. Pengujian sand equivalent
Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan kadar debu dan lumpur atau bahan yang mempunyai lempung pada tanah atau agregat halus.
- 2) Pengujian aspal
Untuk mengetahui kualitas aspal yang digunakan, maka perlu dilakukan pengujian-pengujian sebagai berikut.
- a. Pengujian berat jenis aspal
Berat Jenis Aspal adalah perbandingan antara berat aspal dengan berat air suling dengan volume yang sama pada suhu tertentu. Berat jenis aspal berguna untuk mencari berat jenis campuran aspal dan agregat, dan dalam Marshall Test berguna untuk menentukan VITM, VFWA dan mempengaruhi stabilitas.
 - b. Pengujian penetrasi
Pengujian ini bertujuan untuk menentukan penetrasi aspal (memeriksa tingkat kekerasan aspal) dengan cara memasukkan jarum ukuran tertentu, beban dan waktu tertentu ke dalam aspal pada suhu tertentu.
 - c. Pengujian daktilitas
Maksud pengujian ini adalah untuk mengetahui sifat kohesi dalam aspal itu sendiri yaitu dengan mengukur jarak terpanjang yang dapat ditarik antara dua cetakan yang berisi aspal keras sebelum putus pada suhu dan kecepatan tarik tertentu.
 - d. Pengujian kelarutan dalam TCE
Pengujian ini bertujuan untuk menentukan jumlah aspal yang larut dalam TCE.
 - e. Pengujian titik lembek
Pengujian ini bertujuan untuk menunjukkan temperatur aspal mengalami batas perpindahan antara bentuk padat ke cair.
 - f. Pengujian titik nyala dan titik bakar
Pengujian ini bertujuan untuk menuntukkan suhu dimana aspal terlihat menyala singkat dipermukaan aspal (titik nyala) dan suhu saat terlihat nyala sekurang-kurangnya 5 detik (titik bakar).
- 3) Pengujian Marshall
Langkah-langkah yang dilakukan pada tahap ini adalah sebagai berikut.
1. Benda uji dibersihkan dari kotoran-kotoran yang menempel,
 2. Pada masing-masing benda uji diberi tanda pengenal,
 3. Mengukur ketinggian benda uji tiga kali pada tempat yang berbeda, lalu dirata-rata dengan ketelitian pengukuran 0,01 mm,
 4. Benda uji ditimbang untuk mengetahui berat keringnya,
 5. Direndam didalam air selama 20-24 jam pada suhu ruang agar benda uji menjadi jenuh air,
 6. Setelah benda uji menjadi jenuh kemudian ditimbang dalam air,
 7. Benda uji dilap permukaannya kemudian ditimbang pada kondisi kering permukaan jenuh (Saturated Surface Dry),
 8. Benda uji direndam kedalam waterbath dengan suhu 60°C selama 0,5 jam,
 9. Kepala penekan benda uji dibersihkan terlebih dahulu dan permukaan diberi vaselin untuk memudahkan melepas benda uji
 10. Arloji kelelahan (flow meter) dipasang pada posisi diatas salah satu batang

penuntun (guide rod),

11. Kepala penekan (test head) benda uji dinaikkan sehingga menyentuh alas cicin pengunji, kemudian ditur pada kedudukan arloji tekan pada angka nol,
12. Pembebanan dimulai dengan kecepatan tetap 50 mm/menit, sehingga pembebanan maksimum tercapai. Pada saat arloji pembebanan berhenti maka dimulai kembali berputar menurun, maka dibaca arloji kelelehannya,
13. Setelah pembebanan selesai, benda uji dikeluarkan dari alat uji,
14. Hasil dapat diketahui dari proses perhitungan selanjutnya.

4) Pengujian Cantabro Loss

Langkah-langkah untuk pengujian ini adalah sebagai berikut.

1. Benda uji dipadatkan dengan jumlah tumbukan masing-masing 50 kali pada kedua sisinya.
2. Diamkan benda uji yang telah dipadatkan selama 48 jam pada suhu ruangan.
3. Timbang benda uji untuk mendapatkan berat sebelum diabrasi
4. Masukkan benda uji ke drum mesin Los Angeles tanpa bola baja, lalu jalankan mesin dengan kecepatan antara 30-33 rpm sebanyak 300 putaran.
5. Setelah selesai, keluarkan benda uji lalu timbang.

5) Pengujian Permeabilitas

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai permeabilitas aspal porus.

Langkah – langkah yang dilakukan pada tahap ini adalah sebagai berikut.

1. Meletakkan benda uji pada pipa bagian bawah,
2. Mengencangkan klem untuk permeabilitas horizontal agar benda uji selalu menempel pada pipa dan mencegah kebocoran,
3. Menutup bagian tertentu dengan lilin/malam agar tidak bocor,
4. Meletakkan pipa dan benda uji yang sudah diklem pada bak air yang sudah terisi penuh dengan air, dan permukaan benda uji bagian atas sama dengan tinggi permukaan air pada bak untuk menjaga tekanan agar tetap konstan,
5. Menjepit tabung dengan statif untuk menjaga posisi tabung tetap tegak,
6. Mengisi tabung dengan air sampai mencapai ketinggian 70 cm (h1),
7. Mencatat waktu sampai air mencapai ketinggian 20 cm diatas permukaan benda uji (h2).

HASIL PENELITIAN

1. Hasil Pemeriksaan Agregat

Adapun pengujian agregat yang dilakukan meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar, pengujian berat jenis, penyerapan dan pengujian abrasi agregat kasar dengan mesin los angeles. Berikut tabel dan penjelasan mengenai hasil pengujian agregat.

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

No	Macam Pemeriksaan	Agregat Kasar 1 – 2		Abu Batu	Spesifikasi SII 0052-80
		Standar / Rujukan	10-20		
1	Berat Jenis	SNI 1970:2008			Min 2,5
	Berat Jenis Bulk		2,547	2,507	
	Berat Jenis SSD		2,577	2,536	
	Berat Jenis Semu		2,626	2,580	

	Penyerapan	%		1,176	1,133	Max 3 %
2	Susunan Grading Agregat		SNI 03-1973-1990			
	3/4" (19,1 mm)			100	100	
	1/2" (12,5 mm)			100	100	
	No.4 (9,5 mm)			65,5	98,7	
	No.6 (6,7 mm)			23,3	40,2	
	No.8 (4,75 mm)			13,2	11,3	
	No.16 (2,36 mm)			8,5	10,7	
	No.30 (1,18 mm)			1,4	9,1	
	No.50 (0,6 mm)			1,3	7,45	
	No. 100(0,3 mm)			1,2	1,85	
	No. 200(0,15 mm)			0,3	0,44	
	Pan (0,075 mm)			0,0	0,0	
3	Berat Isi	Kg/lt	SNI 03-4804-1998			
	Berat isi agregat lepas			1,480	1,457	
	Berat isi agregat padat dengan				1,616	
	Tusukan					
4	Kekerasan /Kausan :					
	Los Angeles	%	SNI 2417-2008	32,898		27 – 40
5	Kadar Lumpur	%	SNI 03-4142-1996	1,0	0,8	1 %
6	Pemeriksaan Kadar Air	%	SNI 03-1971-1990	1,903	1,392	0,5%-2,0%

Sumber: Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar, 2024

Berdasarkan data pada tabel di atas dapat dilihat bahwa pada pengujian agregat kasar didapatkan hasil Berat Jenis Bulk, Berat Jenis SSD, Berat Jenis Apparent dan Penyerapan Air yang memenuhi spesifikasi yang disyaratkan. Langkah-langkah perhitungan data yang diperoleh dapat dilihat pada lampiran B

2. Hasil Pengujian Aspal

Pengujian ini meliputi pengujian penetrasi, titik lembek, daktilitas pada suhu 25°C, berat jenis aspal, dan kelekatan aspal terhadap agregat. Hasil pengujian aspal yang telah dilakukan dapat dilihat pada tabel 4.4 berikut:

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Aspal

No.	Karakteristik	Standar	Satuan	Hasil	Spesifikasi
-----	---------------	---------	--------	-------	-------------

Pengujian					
1	Penetrasi	SNI 2456:2011	Mm	66,1	60-70
2	Titik Lembek	SNI 2434:2011	°C	48,5	≥ 48
3	Berat Jenis Aspal	SNI 2441:2011	-	1,10	≥ 1,0

Sumber: Hasil Pengujian Aspal, 2024

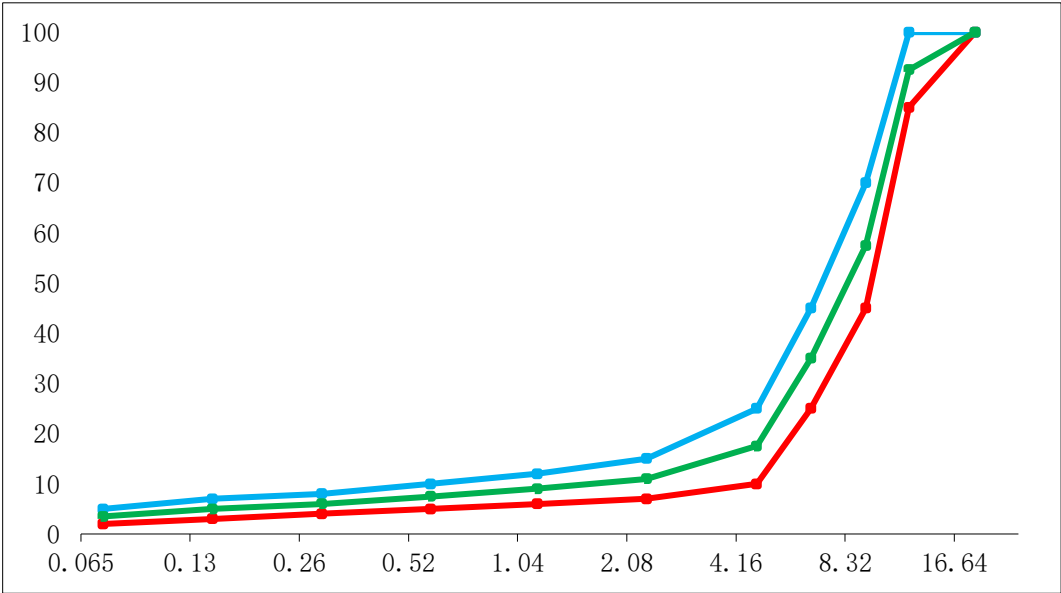
Dari berbagai pengujian aspal yang dilakukan didapat data karakteristik aspal, yaitu penetrasi aspal, titik lembek aspal pada suhu 25°C, dan berat jenis aspal terhadap agregat yang telah memenuhi syarat spesifikasi, terkecuali untuk titik lembek. Data-data pada tabel di atas merupakan hasil perhitungan pengujian tersebut, langkah perhitungan dapat dilihat pada lampiran B.

3. Perencanaan Gradasi Agregat

Rencana gradasi agregat campuran aspal porus menggunakan batas tengah sesuai dengan gradasi yang disyaratkan oleh AAPA 2004. Adapun rencana gradasi agregat campuran aspal porus dilihat pada Tabel 4.3 dan Gambar 4.1 di halaman selanjutnya.

Tabel 4. 3 Gradasi Agregat Maksimum 14 mm

Agregat Maksimum 14 mm				
Ukuran Saringan (mm)	Spesifikasi % Berat Lolos (AAPA, 2004)		% Berat Yang Lolos	% Berat Yang Tertahan
19	100	100	100	0
12,5	85	100	92,5	7,5
9,5	45	70	57,5	42,5
6,7	25	45	35	65
4,75	10	25	17,5	82,5
2,36	7	15	11	89
1,18	6	12	9	91
0,6	5	10	7,5	92,5
0,3	4	8	6	94
0,15	3	7	5	95
0,075	2	5	3,5	96,5



Gambar 4. 1 Grafik Gradasi Campuran Aspal Porus

Sumber: Grafik Gradasi Campuran Aspal Porus AAPA 2004, 2024

4. Perhitungan Komposisi Gradasi Campuran Aspal Porus

Berdasarkan AAPA (2004), kadar aspal untuk agregat ukuran maksimum 14 mm pada kisaran 4% - 6% terhadap berat total campuran. Maka pengujian KAO digunakan kadar aspal 4,5%, 5%, 5,5%, 6% dan 6,5% terhadap berat total campuran. Berikut tabel 4.4

Tabel 4. 4 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, 6%.

Ukuran Saringan		Spesifikasi Berat Yang Lolos (%)		OGA 14 Berat Yang Lolos (%)		Berat Yang Tertahan (%)		Berat Tertahan (gram)				
ASTM	mm							4%	4,5%	5%	5,5%	6%
3/4"	19	100		100	100	0						
1/2"	12,7	85	-	100	92,5	7,5	86,4	85,95	85,5	85,05	84,6	
3/8"	9,5	45	-	70	57,5	35	403,2	401,1	399	396,9	394,8	
2/7"	6,7	25	-	45	35	22,5	259,2	257,85	256,5	255,15	253,8	
No. 4	4,75	10	-	25	17,5	17,5	201,6	200,55	199,5	198,45	197,4	
No. 8	2,36	7	-	15	11	6,5	74,88	74,49	74,1	73,71	73,32	
No. 16	1,18	6	-	12	9	2	23,04	22,92	22,8	22,68	22,56	
No. 30	0,6	5	-	10	7,5	1,5	17,28	17,19	17,1	17,01	16,92	
No. 50	0,3	4	-	8	6	1,5	17,28	17,19	17,1	17,01	16,92	
No. 100	0,15	3	-	7	5	1	11,52	11,46	11,4	11,34	11,28	
No. 200	0,075	2	-	5	3,5	1,5	17,28	17,19	17,1	17,01	16,92	
Pan						3,5	40,32	40,11	39,9	39,69	39,48	
Aspal (gr)							48	54	60	66	72	
								1200	1200	1200	1200	1200

Sumber: Spesifikasi Gradasi Campuran Aspal Porus AAPA 2004, 2024

Tabel 4. 5 Timbangan Aspal Untuk Pengujian Marshall

NO. BENDA UJI	% ASPAL	BERAT TEMPAT PANAS	BERAT TEMPAT + AGREGAT PANAS	BERAT AGREGAT PANAS (4) - (3)	BERAT ASPAL PANAS (100*(5))/(100-(2))	BERAT TEMPAT + AGREGAT PANAS + ASPAL	Berat Bersih Agregat Panas + Aspal Panas
1	2	3	4	5	6	7	8
1A	4.000	700	1840	1140	45.60	1886	1186
1B	4.000	700	1840	1140	45.60	1886	1186
1C	4.000	700	1845	1145	45.80	1891	1191
2A	4.500	700	1835	1135	51.08	1886	1186
2B	4.500	700	1840	1140	51.30	1891	1191
2C	4.500	700	1835	1135	51.08	1886	1186
3A	5.000	700	1830	1130	56.50	1887	1187
3B	5.000	700	1835	1135	56.75	1892	1192
3C	5.000	700	1835	1140	57.00	1897	1192
4A	5.500	700	1830	1130	62.15	1892	1192
4B	5.500	700	1825	1125	61.88	1887	1187
4C	5.500	700	1830	1130	62.15	1892	1192
5A	6.000	700	1820	1120	67.20	1887	1187
5B	6.000	700	1820	1120	67.20	1887	1187
5C	6.000	700	1820	1120	67.20	1887	1187

Sumber : Perhitungan Berat Aspal Marshall, 2024

Tabel 4. 6 Timbangan Aspal Untuk Pengujian Cantabro Loss

NO. BENDA UJI	% ASPAL	BERAT TEMPAT PANAS	BERAT TEMPAT + AGREGAT PANAS	BERAT AGREGAT PANAS (4) - (3)	BERAT ASPAL PANAS (100*(5))/(100-(2))	BERAT TEMPAT + AGREGAT PANAS + ASPAL	BERAT BERSIH AGREGAT PANAS + ASPAL PANAS
1	2	3	4	5	6	7	8
1A	4.000	720	1860	1140	45.60	1906	1186
1B	4.000	720	1865	1145	45.80	1911	1191
1C	4.000	720	1860	1140	45.60	1906	1186
2A	4.500	720	1860	1140	51.30	1911	1191
2B	4.500	720	1855	1135	51.08	1906	1186
2C	4.500	720	1860	1140	51.30	1911	1191
3A	5.000	720	1850	1130	56.50	1907	1187
3B	5.000	720	1855	1135	56.75	1912	1192
3C	5.000	720	1850	1130	56.50	1907	1187
4A	5.500	720	1850	1130	62.15	1912	1192
4B	5.500	720	1850	1130	62.15	1912	1192
4C	5.500	720	1850	1130	62.15	1912	1192
5A	6.000	720	1840	1120	67.20	1907	1187
5B	6.000	720	1845	1125	67.50	1913	1193
5C	6.000	720	1840	1120	67.20	1907	1187

Sumber : Perhitungan Berat Aspal Cantabro loss, 2024

Tabel 4. 7 Timbangan Aspal Untuk Pengujian Aspal Flow Down (AFD)

NO. BENDA UJI	% ASPAL	BERAT TEMPAT PANAS	BERAT TEMPAT + AGREGAT PANAS	BERAT AGREGAT PANAS (4) - (3)	BERAT ASPAL PANAS (100*(5))/(100-(2))	BERAT TEMPAT + AGREGAT PANAS + ASPAL	BERATBERSIH AGREGAT PANAS + ASPAL PANAS
1	2	3	4	5	6	7	8
1A	4.000	720	1860	1140	45.60	1906	1186
1B	4.000	720	1865	1145	45.80	1911	1191
1C	4.000	720	1855	1135	45.40	1900	1180
2A	4.500	720	1850	1130	50.85	1901	1181
2B	4.500	720	1855	1135	51.08	1906	1186
2C	4.500	720	1850	1130	50.85	1901	1181
3A	5.000	720	1850	1130	56.50	1907	1187
3B	5.000	720	1845	1125	56.25	1901	1181
3C	5.000	720	1850	1130	56.50	1907	1187
4A	5.500	720	1850	1130	62.15	1912	1192
4B	5.500	720	1845	1125	61.88	1907	1187
4C	5.500	720	1840	1120	61.60	1902	1182
5A	6.000	720	1840	1120	67.20	1907	1187
5B	6.000	720	1840	1120	67.20	1907	1187
5C	6.000	720	1835	1115	66.90	1902	1182

Sumber : Perhitungan Berat Aspal AFD, 2024

5. Hasil Pembuatan Benda Uji Marshall

Pembuatan benda uji marshall dilaksanakan berdasarkan standar pengerjaan yang telah ada. Pencampuran agregat dan aspal dilakukan pada suhu 150 oC dan dipadatkan dengan jumlah tumbukan 100 kali (2 x 50 per bidang) pada satu benda uji. Jumlah pembuatan benda untuk pengujian marshall masing-masing ada 15 buah

Tabel 4. 8 Hasil Pengujian Uji Marshall Pada Benda Uji

Kadar Aspal	Tinggi Benda Uji	Korelasi Tinggi Benda Uji	Stabilitas Di Baca (Kg)	Stabilitas Di Koreksi (Kg)	Flow	MQ
	71,5	0,83	49	525,643	1,64	320,51
4%	70	0,86	45	500,182	2,88	173,67
	67,9	0,93	40	480,795	2,11	227,86
Rata-rata				502,207	2,21	240,68
	69,6	0,86	52	577,988	2,11	273,93
4,5%	66	0,96	39	483,897	2,32	208,58
	71	0,83	45	482,734	2,73	176,83
Rata-rata				514,873	2,39	219,78
	70	0,86	47	522,412	2,9	180,14
5%	66,3	0,96	42	521,120	2,52	206,79
	66,5	0,96	45	558,343	2,01	277,78
Rata-rata				533,958	2,48	221,57

	67,1	0,93	42	504,835	2,7	186,98
5,5%	67,5	0,93	47	564,934	2,3	245,62
	66,3	0,96	39	483,897	2,6	186,11
Rata-rata				517,889	2,53	206,24
	71,7	0,83	51	547,098	2,47	221,50
6,0%	71,5	0,83	54	579,281	2,57	225,40
	71,5	0,83	40	429,097	2,9	147,96
Rata-rata				518,492	2,65	198,29

Sumber: Pengujian Marshall, 2024

Tabel 4. 9 Kadar Rongga

Kadar Aspal	No Sampel	Tinggi Sampel (cm)	Luas Penampang Sampel (cm ²)	Berat Kering (gr)	Berat Jenuh Permukaan (gr)	Berat Dalam Air (gr)	GMB	GMM	Kadar Rongga
4%	1	7,15	82,313	1164,6	1190,7	654,6	1,979	2,435	18,720
	2	7	82,796	1153,8	1182,7	653,7	1,991	2,435	18,228
	3	7,15	82,474	1160,6	1186	655,1	1,968	2,435	19,157
RATA-RATA									18,701
4,5%	1	7	83,281	1155,1	1182,2	647,6	1,981	2,418	18,043
	2	7,1	82,474	1151,6	1177,5	642,7	1,967	2,418	18,655
	3	7,1	82,153	1148,1	1173,8	641,5	1,968	2,418	18,584
RATA-RATA									18,427
5%	1	7	83,281	1152	1182,6	650	1,976	2,401	17,696
	2	6,98	83,281	1146,3	1173,1	639,9	1,972	2,401	17,869
	3	7	83,281	1136,4	1165,1	635,3	1,949	2,401	18,811
RATA-RATA									18,125
5,5%	1	6,91	82,958	1135	1161,9	632,4	1,980	2,385	16,967
	2	6,75	82,313	1143,5	1167,4	630,8	2,058	2,385	13,692
	3	6,9	82,796	1144	1166,2	633,4	2,002	2,385	16,024
RATA-RATA									15,561
6%	1	6,89	81,511	1131,3	1148,8	629,6	2,014	2,368	14,947
	2	6,72	80,554	1135,4	1153,5	627,9	2,097	2,368	11,439
	3	6,72	81,832	1118,2	1137,8	625	2,033	2,368	14,142
RATA-RATA									13,509

Sumber: Pengujian Marshall, 2024

6. Perhitungan Pengujian Marshall

Adapun contoh perhitungan pengujian *marshall*, diambil sampel perhitungan benda uji 1 kadar aspal 5,0%. Sebagai berikut:

- Kadar aspal = 4,0%
- Berat agregat bulk = $((2,837 \times 20\%) + (2,533 \times 27\%) + (2,535 \times 36\%) + (2,860 \times 15\%) + (3,2 \times 2\%))$ = 2,647
- Berat agregat semu = $((2,863 \times 20\%) + (2,576 \times 27\%) +$

$$(2,551 \times 36\%) + (2,897 \times 15\%) = 2,666$$

- Berat Efektif Total $= (2,647 + 2,666) / 2 = 2,656$
- Berat Di Udara (Kering) $= 1235,7 \text{ gram}$
- Berat Di Air $= 730 \text{ gram}$
- Berat SSD $= 1242,6 \text{ gram}$
- Isi Benda Uji $= 1242,6 - 730 = 512,60 \text{ gram}$
- Berat isi $= \frac{1235,7}{512,60} = 2,411 \text{ gr/cc}$
- Rongga Udara (VIM) $= 100 - (100 \times \frac{2,411}{2,47}) = 2,35 \%$
- Rongga Agregat (VMA) $= 100 - \frac{(2,411 \times (100 - 5,0))}{2,647} = 13,47\%$
- Rongga Terisi Aspal (VFB) $= 100 \times \frac{(13,47 - 2,35)}{13,47} = 82,57\%$
- Bacaan Stabilitas $= 72,00$
- Stabilitas $= 72 \times 12,9246 = 930,57 \text{ kg}$
- Kelelehan (*flow*) $= 2,50 \text{ mm}$
- Hasil Bagi *Marshall* (MQ) $= \frac{930,57}{2,50} = 372,23 \text{ kg/mm}$
- Absorpsi Aspal $= 100 \times \frac{(2,656 - 2,647)}{(2,656 \times 2,647)} \times 1,054 = 0,145\%$
- Kadar Aspal Efektif $= 5,0 - \frac{0,145(100 - 5,0)}{100} = 4,86 \%$

7. Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Sifat Campuran

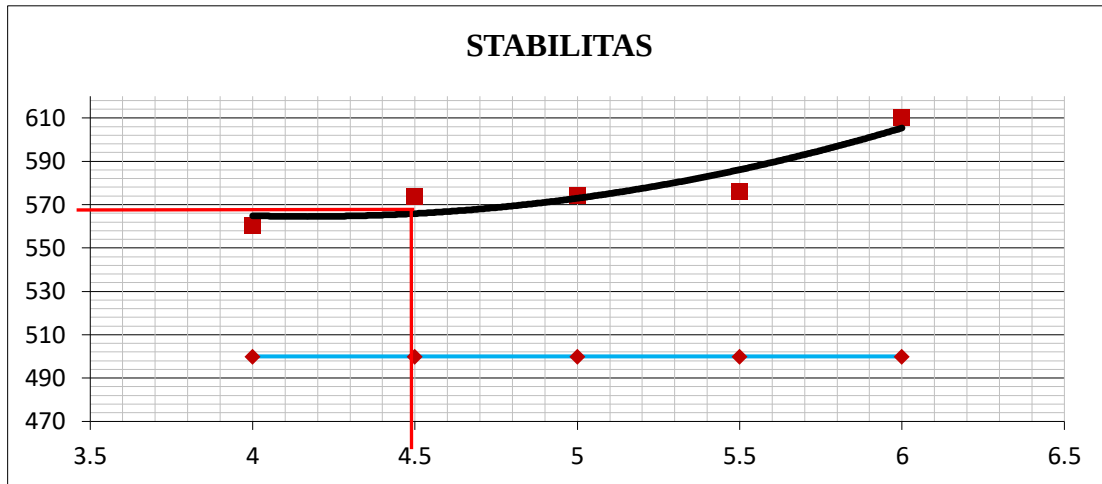
Adapun pengaruh kadar aspal terhadap sifat campuran adalah sebagai berikut:

a) Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Stabilitas

Untuk nilai stabilitas pada spesifikasi mengharuskan memiliki nilai minimal 500kg. Perkerasan aspal yang nilai stabilitasnya terlalu rendah mengakibatkan perkerasan aspal tersebut rentan cepat rusak dan mengalami keretakan. dapat dilihat pada tabel 4.10 dan gambar 4.2 di bawah ini.

Tabel 4. 10 Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Stabilitas

Kadar Aspal	Stabilitas
4 %	560,664
4,5 %	573,832
5 %	574,465
5,5 %	576,147
6 %	610,085



Gambar 4. 2 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Stabilitas

Sumber: Hasil Perhitungan Marshall, 2024

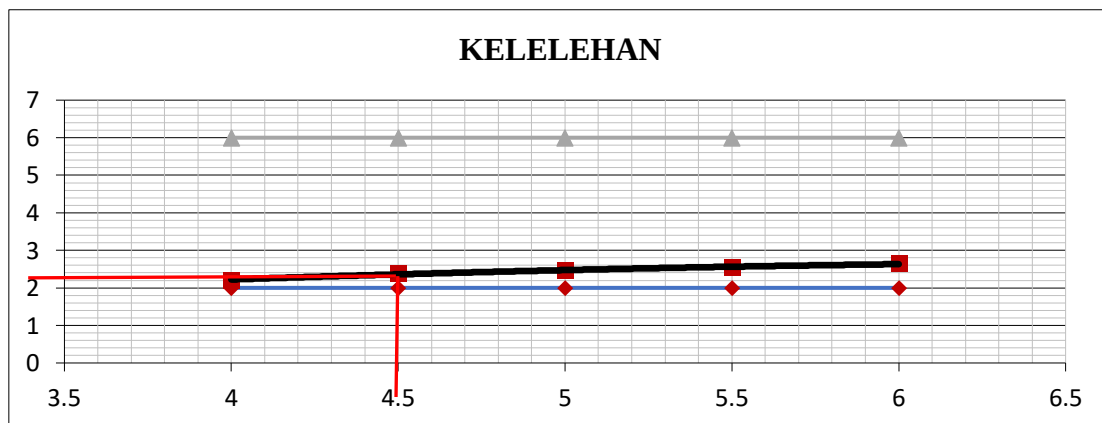
Dari hasil pengujian marshall benda uji aspal porus didapatkan hasil sebagaimana yang tercantum pada tabel 4.10 dan gambar 4.2. Dengan hasil yang telah diamati pada grafik berdasarkan Kadar Aspal Optimum 4,5 % diperoleh nilai Stabilitas campuran 560

b) Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Kelelahan (Flow)

Kelelahan (Flow) untuk Aspal Porus AAPA (2004). pada spesifikasi mengharuskan memiliki nilai minimal 2 mm maksimal 4 mm. Perkerasan aspal yang nilai kelelahannya terlalu tinggi mengakibatkan perkerasan aspal tersebut menjadi getas yang mengakibatkan cepat mengalami keretakan. Untuk hasil nilai kelelahan dapat dilihat pada tabel 4.11 dan gambar 4.3

Tabel 4. 11 Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Kelelahan (flow)

Kadar Aspal	Kelelahan (Flow)
4,0%	2,21
4,5%	2,39
5,0%	2,48
5,5%	2,53
6,0%	2,65



Gambar 4. 3 Grafik Pengaruh Kadar Aspal terhadap Kelelahan (Flow)

Sumber: Hasil Perhitungan Marshall, 2024

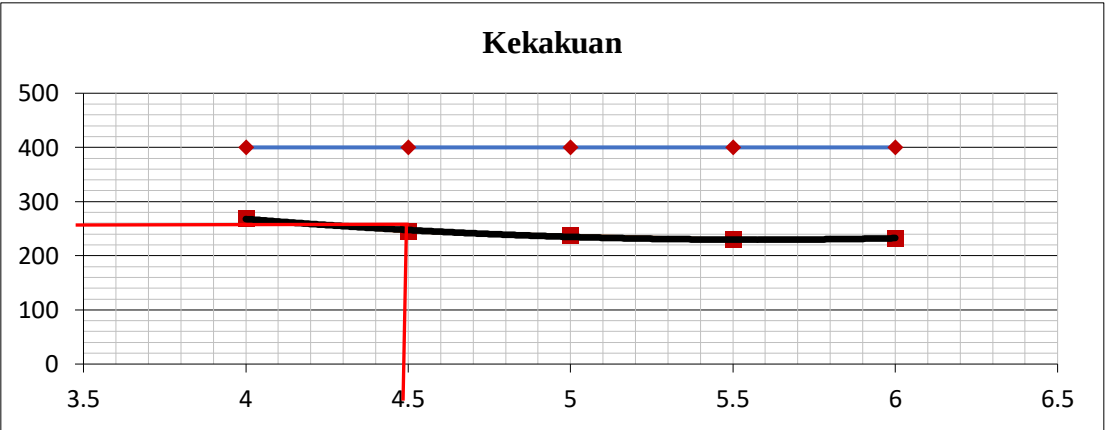
Dari hasil pengujian marshall benda uji aspal tanpa plastik didapatkan hasil sebagaimana tercantum pada tabel 4.11 dan gambar 4.3. Pada hasil yang diamati pada grafik berdasarkan pada Kadar Aspal Optimum 4,5% diperoleh nilai kelelahan (flow) campuran ini adalah 2,4 mm yang artinya telah memenuhi spesifikasi campuran Aspal Porus AAPA (2004).

c) Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Marshall Kekakuan

Marshall Quotient (MQ) merupakan nilai pendekatan dalam mengukur nilai kekakuan suatu campuran beraspal dalam menerima beban. Pada campuran Aspal Porus AAPA (2004) berdasarkan spesifikasi nilai minimum yang harus dicapai adalah 250 kg/mm. Adapun hasil nilai hasil bagi marshall pada pengujian ini dapat dilihat pada tabel 4.12 dan gambar 4.4 sebagai berikut:

Tabel 4. 12 Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Marshall Kekakuan

Kadar Aspal	Mashall Kekakuan
5,0%	268,83
5,5%	244,71
6,0%	236,90
6,5%	229,69
7,0%	232,11



Gambar 4. 4 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Kekakuan Aspal

Sumber: Hasil Perhitungan Marshall, 2024

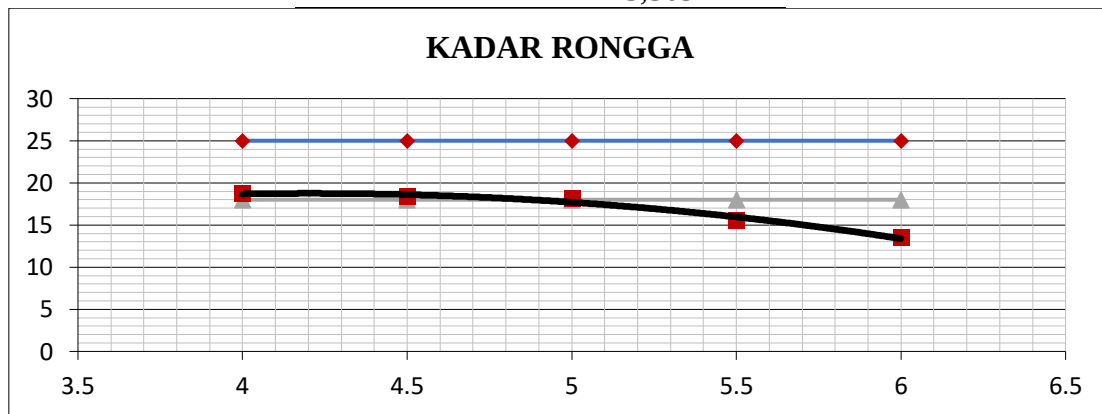
Dari hasil pengujian marshall benda uji aspal tanpa plastik didapatkan nilai marshall quotient seperti yang tercantum pada tabel 4.12 dan gambar 4.4. dari hasil yang didapatkan dapat dinyatakan bahwa keseluruhan benda uji aspal nilai kekauan nya memenuhi spesifikasi, karena nilai maksimal 400 kg/mm. Dengan hasil tersebut pada Kadar Aspal Optimum 4,5% didapatkan nilai Kekakuan sebesar 250 kg/mm

d) Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Kadar Rongga

Pada campuran beraspal porus nilai kadar rongga yang disyaratkan adalah 8-25%. Suatu perkerasan yang nilai VIM-nya kurang dari 8% akan mudah mengalami deformasi plastis yaitu pada saat temperature tinggi aspal akan mencair dan mencari ruang kosong, yang juga akan mengakibatkan bleeding atau aspal naik ke permukaan. Sebaliknya, nilai kadar rongga yang terlalu besar akan mengakibatkan perkerasan kurang kedepannya yang mengakibatkan keretakan dan turunnya umur perkerasan aspal tersebut. Untuk hasil nilai kadar rongga pada pengujian ini dapat dilihat pada tabel 4.13 dan gambar 4.5 berikut:

Tabel 4. 13 Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Kadar Rongga

Kadar Aspal	Kadar Rongga
4,0%	18,7013
4,5%	18,4274
5,0%	18,1253
5,5%	15,5607
6,0%	13,5094



Gambar 4. 5 Grafik Hubungan Kadar Aspal Terhadap Kadar Rongga

Sumber: Hasil Perhitungan Marshall, 2024

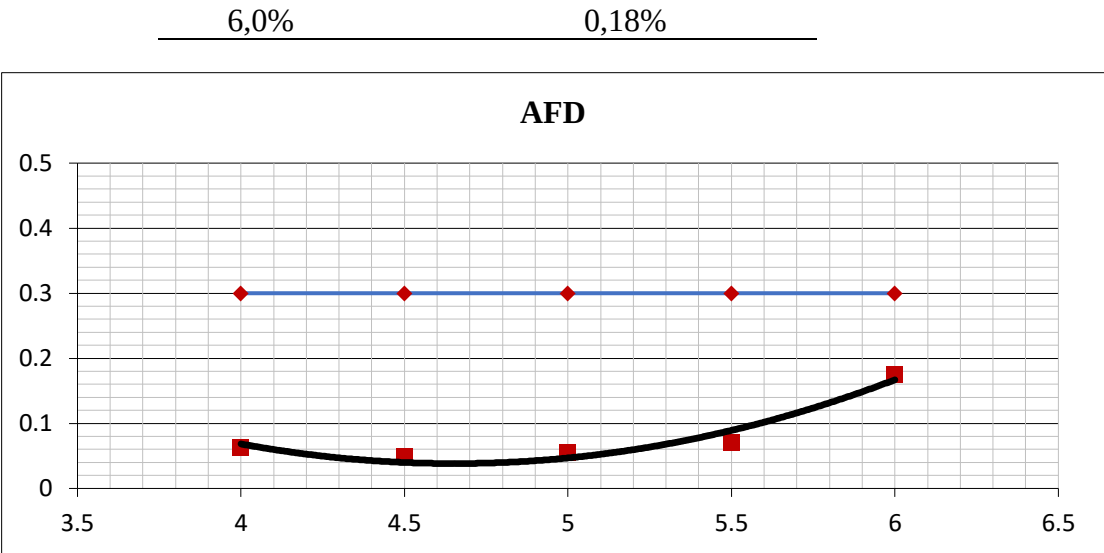
Setelah dilakukan pengujian benda uji aspal tanpa plastik didapatkan hasil sebagaimana yang tercantum pada tabel 4.13 dan Gambar 4.5 Untuk kadar aspal 4,0% sampai 6,0% kadar rongga memenuhi spesifikasi. Untuk nilai kadar rongga terhadap Kadar Aspal Optimum 4,5% didapatkan nilai kadar rongga sebesar 18%

e) Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Aspal Flow Down (AFD)

Pada spesifikasi nilai AFD yang disyaratkan untuk aspal porus, maksimal 0,3%. Perkerasan yang nilai AFD terlalu besar Aspal yang mengalir terlalu cepat atau terlalu banyak dapat mengakibatkan penyebaran yang tidak merata atau kehilangan konsistensi, yang dapat mempengaruhi kualitas jalan atau permukaan yang dikerjakan. Sebaliknya apabila nilai AFD terlalu kecil maka Aspal yang terlalu kental atau tidak cukup cair mungkin sulit untuk dikerjakan dan didistribusikan dengan baik. Ini dapat mengakibatkan penyebaran yang tidak merata atau tidak memadai di permukaan yang dikerjakan, sehingga mempengaruhi kualitas akhir dari konstruksi jalan atau permukaan lainnya. Untuk hasil nilai Aspal Flow Down Dalam Agregat pada pengujian ini dapat dilihat pada tabel 4.14 dan gambar 4.6 berikut:

Tabel 4. 14 Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Aspal Flow Down (AFD)

Kadar Aspal	AFD
4,0%	0,06%
4,5%	0,05%
5,0%	0,05%
5,5%	0,07%



Gambar 4. 6 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap AFD

Sumber: Hasil Perhitungan Aspal Flow Down, 2024

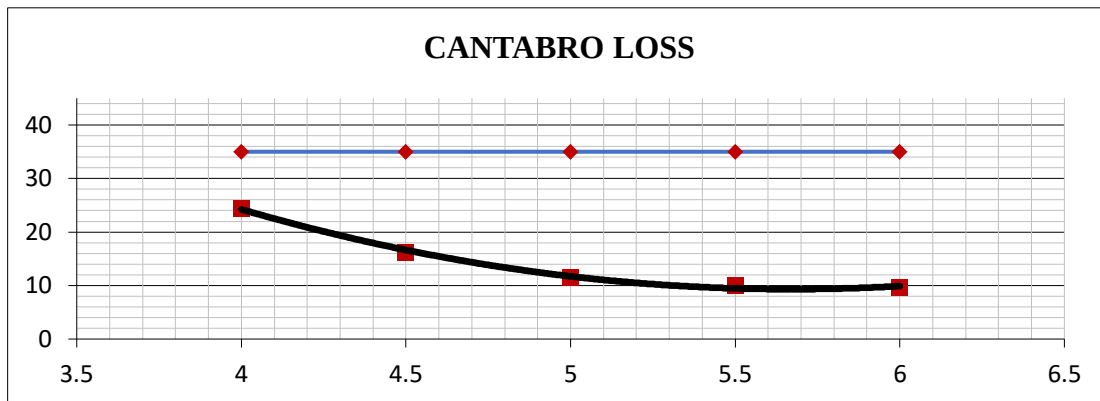
Dari hasil pengujian marshall benda uji aspal normal sebagaimana yang tercantum pada tabel 4.14 dan gambar 4.6 didapatkan hasil bahwa dari seluruh variasi kadar aspal flow down memenuhi spesifikasi. Apabila diambil nilai berdasarkan Kadar Aspal Optimum 4,5% didapatkan nilai AFD adalah 0,04% yang dimana nilai tersebut memenuhi spesifikasi.

f) Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Centabro Loss

Pada spesifikasi, nilai Centabro Loss yang disyaratkan untuk aspal porus adalah 35%. Nilai Centabro Loss yang terlalu kecil mengakibatkan Jika nilai centabro loss terlalu kecil, ini dapat mengindikasikan bahwa aspal tersebut cenderung kurang stabil atau kurang mampu menghilangkan komponen volatilnya pada suhu yang sesuai. Sebaliknya, apabila nilai centabro loss terlalu besar dapat mengakibatkan terjadinya keausan pada aspal. Untuk hasil VFB pada pengujian marshall ini dapat dilihat pada tabel 4.15 dan gambar 4.7 berikut:

Tabel 4. 15 Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Uji Centabro Loss

Kadar Aspal	Centabro Loss
4,0%	24,42%
4,5%	16,32%
5,0%	11,58%
5,5%	9,98%
6,0%	9,67%



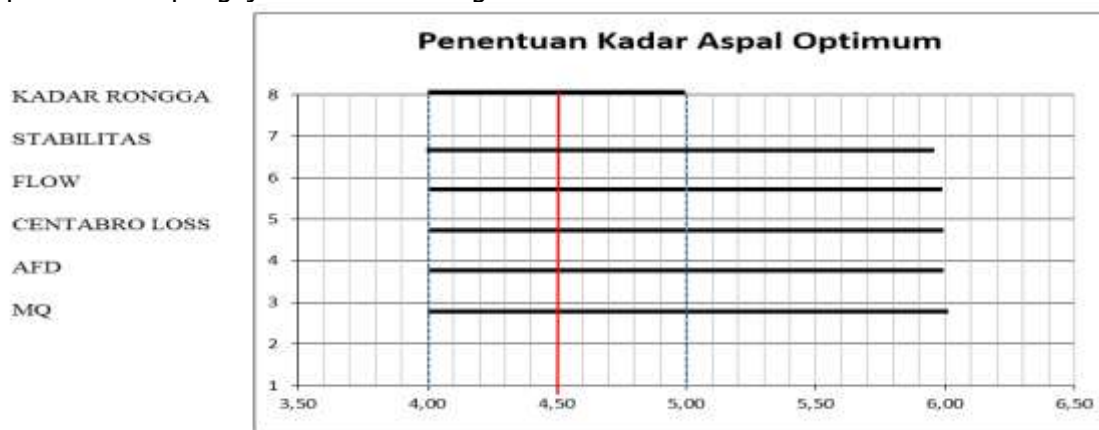
Gambar 4. 7 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Cantabro Loss

Sumber: Hasil Perhitungan Cantabro Loss, 2024

Dari hasil pengujian cantabro loss benda uji aspal normal dapat dilihat nilai uji cantabro loss test yang didapatkan sebagaimana yang tercantum pada tabel 4.15 dan gambar 4.7 didapatkan hasil bahwa dari uji cantabro loss memenuhi spesifikasi. Sedangkan apabila dilihat dari Kadar Aspal Optimum 4,5% didapatkan nilai cantabro loss adalah 15,10% yang artinya telah memenuhi spesifikasi campuran beraspal porus (AAPA 2004).

g) Menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Penentuan Kadar Aspal Optimum dilakukan dengan mengamati sifat-sifat campuran aspal hasil dari pengujian marshall sebagai berikut:



Gambar 4. 8 Grafik Kadar Aspal Optimum (KAO)

Sumber: Hasil Perhitungan KAO, 2024

Dari hasil pengujian marshall, aspal flow down, dan cantabro loss didapatkan nilai sifat-sifat campuran yang ditampilkan pada grafik 4.8 di atas dan didapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO) yang digunakan yaitu 4,5%

h) Variasi Plastik Pada Benda Uji Berdasarkan Kadar Aspal Optimum (KAO) Sebagai Substitusi Agregat Kasar

Adapun penambahan persentase limbah Plastik PET berdasarkan standar pengerjaan yang telah ada. Sesuai nilai kadar aspal optimum (KAO) yang digunakan yaitu 4,5%.. Kadar persentase limbah Plastik PET yang digunakan pada penelitian ini adalah 10%, 20%, dan 30%.

i) Hasil Pembuatan Benda Uji Variasi Limbah Plastik PET Pada Marshall

Pembuatan benda uji variasi Plastik PET marshall dilaksanakan berdasarkan standar pengerjaan yang telah ada. Sesuai nilai kadar aspal optimum (KAO) yang digunakan yaitu 4,5%. Pencampuran agregat dan aspal dilakukan pada suhu 150 oC dan dipadatkan dengan jumlah tumbukan 100 kali (2 x 50 per bidang) pada satu benda uji. Jumlah pembuatan benda untuk pengujian marshall masing-masing ada 3 buah

Tabel 4. 16 Berat Proporsi Agregat Limbah Plastik PET Pada Uji Marshall

Ukuran Saringan	Spesifikasi	Jumlah Persen %		Berat Tertahan				10%		20%		30%	
				(gram)				Berat Plastik 114,6		Berat Plastik 229,2		Berat Plastik 343,8	
		Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah	10%	PLASTIK	20%	PLASTIK	30%	PLASTIK
3/4 "	19 mm	100	100	100	0	0	0	0		0		0	
1/2 "	12,5 mm	85	100	92,5	7,5	85,95	85,95	85,95		85,95		85,95	
3/8 "	9,5 mm	45	70	57,5	42,5	401,1	487,05	429,75	487,05	387,05	487,05	287,05	487,05
2/7 "	6,7 mm	25	45	35	65	257,85	744,9	687,6	744,9	615,7	744,9	601,1	744,9
No. 4	4,75 mm	10	25	17,5	82,5	200,55	945,45	945,45		945,45		945,45	
No. 8	2,36 mm	7	15	11	89	74,49	1019,94	1019,94		1019,94		1019,94	
No. 16	1,18 mm	6	12	9	91	22,92	1042,86	1042,86		1042,86		1042,86	
No. 30	0,60 mm	5	10	7,5	92,5	17,19	1060,05	1060,05		1060,05		1060,05	
No. 50	0,30 mm	4	8	6	94	17,19	1077,24	1077,24		1077,24		1077,24	
No. 100	0,150 mm	3	7	5	95	11,46	1088,7	1088,7		1088,7		1088,7	
No. 200	0,075 mm	2	5	3,5	96,5	17,19	1105,89	1105,89		1105,89		1105,89	
Pan		0	0	0	100	40,11	1146	1146		1146		1146	
						1146							
Aspal						54		54		54		54	
Total						1200		1200		1200		1200	

Sumber : Perhitungan Marshall pada Berat Variasi Limbah Plastik PET, 2024

Tabel 4. 17 Berat Limbah Plastik PET Pada Uji Marshall Tiap Kadar Persentase Kadar Plastik PET 10% 20% dan 30%

NO. BENDA Uji	% ASPAL	BERAT TEMPAT	BERAT TEMPAT+ AGREGAT PANAS	BERAT AGREGAT PANAS (4)- (3)	BERAT ASPAL $(100*(5))/(100-(2))$	BERAT TEMPAT+ AGREGAT PANAS + ASPAL
1	2	3	4	5	6	7
1A	4,500	730	1865	1135	51,08	1916
1B	4,500	730	1875	1145	51,53	1927
1C	4,500	730	1885	1155	51,98	1937
1A	4,500	730	1855	1125	50,63	1906
1B	4,500	730	1875	1145	51,53	1927
1C	4,500	730	1870	1140	51,30	1921
1A	4,500	730	1855	1125	50,63	1906
1B	4,500	730	1870	1140	51,30	1921
1C	4,500	730	1865	1135	51,08	1916

Sumber : Perhitungan Marshall pada Berat Variasi Limbah Plastik PET, 2024

Setelah berat proporsi plastik PET ditimbang dari masing-masing persentase didapatkan selanjutnya membuat benda uji substitusi agregat kasar plastik PET. Dari hasil pengujian marshall yang telah dilaksanakan di laboratorium dengan penambahan variasi limbah Plastik PET pada Kadar Aspal Optimum 4,5% maka didapat sifat-sifat campuran beraspal yaitu Stabilitas, Kelelahan (flow), Kadar Rongga, Kekakuan. Hasil pengujian marshall dapat dilihat pada tabel 4.18 Marshall Test Benda Uji Aspal Dengan Substitusi Agregat limbah Plastik PET.

Tabel 4. 18 Marshall Test Benda Uji Aspal sebagai substitusi agregat dengan limbah plastik PET

Kadar Aspal	Variasi Plastik	Tinggi Benda Uji	Korelasi Tinggi Benda Uji	Stabilitas Di Baca (Kg)	Stabilitas Di Koreksi (Kg)	Flow	MQ
4,5%	10%	70	0,802	129	1548,611	2,01	770,45
		72,7	0,81	97	1176,075	3,7	317,86
		73,8	0,81	91	1103,328	3,41	323,56
		Rata-rata			1276,005	3,04	470,62
4,5%	20%	69,4	0,86	140	1802,207	2,54	709,53
		72,5	0,76	100	1137,606	3,3	344,73
		71,7	0,83	83	1031,180	3,16	326,32
		Rata-rata			1323,664	3,00	460,19
4,5%	30%	71	0,76	140	1592,648	4,3	370,38
		70,9	0,76	157	1786,041	3,87	461,51
		71,5	0,78	130	1517,806	5,05	300,56
		Rata-rata			1632,165	4,41	377,48

Sumber: Perhitungan Marshall, 2024

j) Hasil Pembuatan Benda Uji Variasi Karet Cantabro Loss

Pembuatan benda uji variasi plastik PET pada cantabro loss dilaksanakan berdasarkan standar pengerjaan yang telah ada. Sesuai nilai kadar aspal optimum (KAO) yang digunakan yaitu 4,5%. Jumlah pembuatan benda untuk pengujian cantabro loss masing-masing variasi ada 3 buah. Setiap benda uji akan di uji menggunakan alat Los Angeles dengan sebanyak 300x putaran setiap satu benda uji

Tabel 4. 19 Berat Limbah Karet Ban Pada Uji Cantabro Loss Tiap Kadar Persentase Kadar Plastik PET 10%, 20%, 30%.

NO. BENDA UJI	% ASPAL	BERAT TEMPAT	BERAT TEMPAT+ AGREGAT PANAS	BERAT AGREGAT PANAS (4) - (3)	BERAT ASPAL $(100 \times (5)) / (100 - (2))$	BERAT TEMPAT+ AGREGAT PANAS + ASPAL
1	2	3	4	5	6	7
2A	4,500	730	1870	1140	51,30	1921
2B	4,500	730	1875	1145	51,53	1927
2C	4,500	730	1875	1145	51,53	1927
2A	4,500	730	1885	1155	51,98	1937
2B	4,500	730	1885	1155	51,98	1937
2C	4,500	730	1870	1140	51,30	1921
2A	4,500	730	1875	1145	51,53	1927
2B	4,500	730	1875	1145	51,53	1927
2C	4,500	730	1875	1145	51,53	1927

Sumber : Perhitungan Cantabro Loss pada Berat Variasi Limbah Karet Ban, 2024

Tabel 4. 20 Cantabro Loss Benda Uji Aspal sebagai subsitusi agregat dengan limbah plastik PET

NO	KADAR ASPAL	KADAR PLASTIK	BERAT		KEHILANGA N BERAT	PERSEN KEHILANGA N BERAT	CANTABRO ORATA- RATA
	(%)	(%)	(g)	(g)	(g)	(%)	
			<i>Mo</i>	<i>M</i>	<i>(Mo-M)</i>	<i>L</i>	(%)
1			1144,9	1027,5	117,4	10,25	
2	4,5%	10%	1158,6	899,5	259,1	22,36	15,99
3			1150	973,6	176,4	15,34	
1			1159,6	916,7	242,9	20,95	
2	4,5%	20%	1147,1	974,4	172,7	15,06	16,99
3			1145,8	974,4	171,4	14,96	
1			1136,9	953,7	183,2	16,11	
2	4,5%	30%	1128,4	879,6	248,8	22,05	18,81
3			1145,6	936,2	209,4	18,28	

Sumber: Perhitungan Cantabro Loss, 2024

k) Hasil Pembuatan Benda Uji Variasi Karet Permeabilitas

Pembuatan benda uji variasi plastik PET sebagai benda uji permeabilitas dilaksanakan berdasarkan standar pengerjaan yang telah ada. Sesuai nilai kadar aspal optimum (KAO) yang digunakan yaitu 4,5%. Jumlah pembuatan benda untuk pengujian permeabilitas masing-masing variasi ada 3 buah. Setiap benda uji akan di uji menggunakan alat permeabilitas setiap satu benda uji. Untuk mengetahui serapan air pada benda uji.

Tabel 4. 21 Berat Limbah Plastik Pada Uji Permeabilitas Tiap Kadar Persentase Kadar Plastik PET 10%, 20%, 30%

NO. BENDA UJI	% ASPAL	BERAT TEMPAT	BERAT TEMPAT + AGREGAT PANAS	BERAT AGREGAT PANAS (4) -(3)	BERAT ASPAL (100*(5))/(100- (2))	BERAT TEMPAT + AGREGAT PANAS + ASPAL
1	2	3	4	5	6	7
3A	4,500	730	1900	1170	52,65	1953
3B	4,500	730	1910	1180	53,10	1963
3C	4,500	730	1905	1175	52,88	1958
3A	4,500	730	1885	1155	51,98	1937
3B	4,500	730	1890	1160	52,20	1942
3C	4,500	730	1890	1160	52,20	1942
3A	4,500	730	1885	1155	51,98	1937
3B	4,500	730	1890	1160	52,20	1942
3C	4,500	730	1875	1145	51,53	1927

Sumber: Perhitungan Permeabilitas pada Berat Variasi Plastik PET, 2024

Tabel 4. 1 Nilai hasil uji permeabilitas variasi 10%

10%		Sampel A	Sampel B	Sampel C
Luas Penampang Pipa, a	(cm ²)	1,431	1,431	1,431
Panjang / Tinggi Benda Uji, l	(cm)	6,75	7,05	6,95
Diameter Contoh, d	(cm)	10,1	10,1	10,1
Luas Penampang Benda Uji, A	(cm ²)	80,078	80,078	80,078
Tinggi Permukaan Air Semula, H1	(cm)	70	70	70
Tinggi Permukaan Air Akhir, H2	(cm)	20	20	20
Lama Waktu Pengujian, t	(detik)	17,25	13,44	13,71
Koefisien Permeabilitas, k	(cm/det)	0,00875	0,011727	0,011333
Koefisien Permeabilitas rata rata	(cm/det)		0,01060	

Sumber: Perhitungan Permeabilitas Variasi Limbah Plastik PET 10%, 2024

Tabel 4. 2 Nilai hasil uji permeabilitas variasi 20%

20%		Sampel A	Sampel B	Sampel C
Luas Penampang Pipa, a	(cm ²)	1,431	1,431	1,431
Panjang / Tinggi Benda Uji, l	(cm)	7,02	7,01	7,2
Diameter Contoh, d	(cm)	10,1	10,1	10,1
Luas Penampang Benda Uji, A	(cm ²)	80,078	80,078	80,078
Tinggi Permukaan Air Semula, H1	(cm)	70	70	70
Tinggi Permukaan Air Akhir, H2	(cm)	20	20	20
Lama Waktu Pengujian, t	(detik)	20,22	15,97	14,16
Koefisien Permeabilitas, k	(cm/det)	0,00776	0,009813	0,011368
Koefisien Permeabilitas rata rata	(cm/det)		0,00965	

Sumber: Perhitungan Permeabilitas Variasi Limbah Plastik PET 20%, 2024

Tabel 4. 3 nilai hasil uji permeabilitas variasi 30%

30%		Sampel A	Sampel B	Sampel C
Luas Penampang Pipa, a	(cm ²)	1,431	1,431	1,431
Panjang / Tinggi Benda Uji, l	(cm)	7,2	7,09	7,15
Diameter Contoh, d	(cm)	10,1	10,1	10,1
Luas Penampang Benda Uji, A	(cm ²)	80,078	80,078	80,078
Tinggi Permukaan Air Semula, H1	(cm)	70	70	70
Tinggi Permukaan Air Akhir, H2	(cm)	20	20	20
Lama Waktu Pengujian, t	(detik)	18,90	15,90	26,66
Koefisien Permeabilitas, k	(cm/det)	0,00852	0,009969	0,005996
Koefisien Permeabilitas rata rata	(cm/det)		0,00816	

Sumber: Perhitungan Permeabilitas Variasi Limbah Plastik PET 30%, 2024

I) Pengaruh Substitusi agregat Terhadap Sifat Campuran Pada Variasi Plastik PET

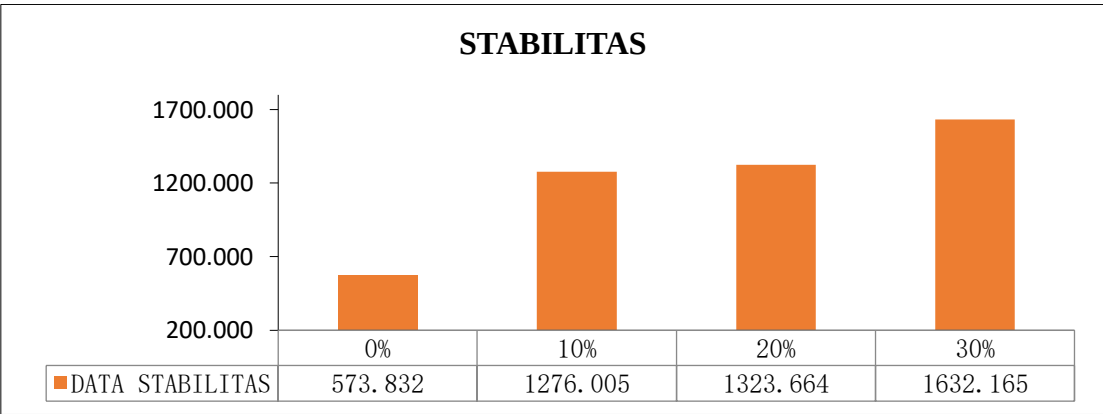
Adapun pengaruh substitusi agregat variasi plastik PET terhadap sifat campuran adalah sebagai berikut:

1. Pengaruh Substitusi Agregat Terhadap Stabilitas

Stabilitas untuk Aspal Porus AAPA (2004). pada spesifikasi mengharuskan memiliki nilai minimal 500 kg. Untuk nilai stabilitas campuran dapat dilihat pada tabel 4.25 dan gambar 4.9 di bawah ini

Tabel 4. 25 Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Stabilitas

Kadar Aspal	Variasi Plastik PET	Stabilitas
4,5 %	0%	573,832
4,5 %	10%	1276,005
4,5 %	20%	1323,664
4,5 %	30%	1632,165



Gambar 4. 9 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Variasi plastik PET Terhadap Stabilitas
Sumber: Hasil Perhitungan Variasi Karet Marshall, 2024

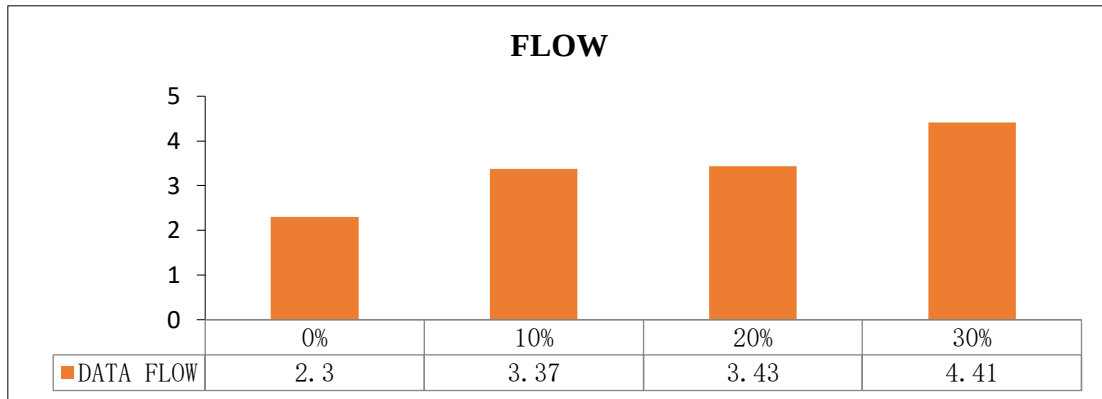
Dari hasil pengujian dengan substitusi agregat plastik PET pada marshall benda uji aspal porus didapatkan hasil sebagaimana yang tercantum pada tabel 4.25 dan gambar 4.9 Dengan hasil yang telah diamati pada grafik berdasarkan Kadar Aspal Optimum 4,5 % diperoleh nilai Stabilitas variasi 0% sebesar 573,832 kg, 10% sebesar 1276,005kg, 20% sebesar 1323,664kg, dan 30% sebesar 1632,165kg. Sehingga semua variasi memenuhi spesifikasi AAPA 2004.

2. Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Kelelahan (Flow)

Kelelahan (Flow) untuk Aspal Porus AAPA (2004). pada spesifikasi mengharuskan memiliki nilai minimal 2 mm maksimal 6 mm. Perkerasan aspal yang nilai kelelehannya terlalu tinggi mengakibatkan perkerasan aspal tersebut menjadi getas yang mengakibatkan cepat mengalami keretakan, sedangkan apabila nilai kelelehannya terlalu rendah maka perkerasan tersebut akan bersifat plastis dan mudah berubah bentuk. Untuk hasil nilai kelelahan dapat dilihat pada tabel 4.26 dan gambar 4.10

Tabel 4. 26 Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Kelelahan (flow)

Kadar Aspal	Variasi Plastik PET	Kelelahan (flow)
4,5 %	0%	2,3
4,5 %	10%	3,37
4,5 %	20%	3,43
4,5 %	30%	4,41



Gambar 4. 10 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Variasi plastik PET Terhadap Kelelahan (flow)

Sumber: Hasil Perhitungan Variasi Plastik PET Marshall, 2024

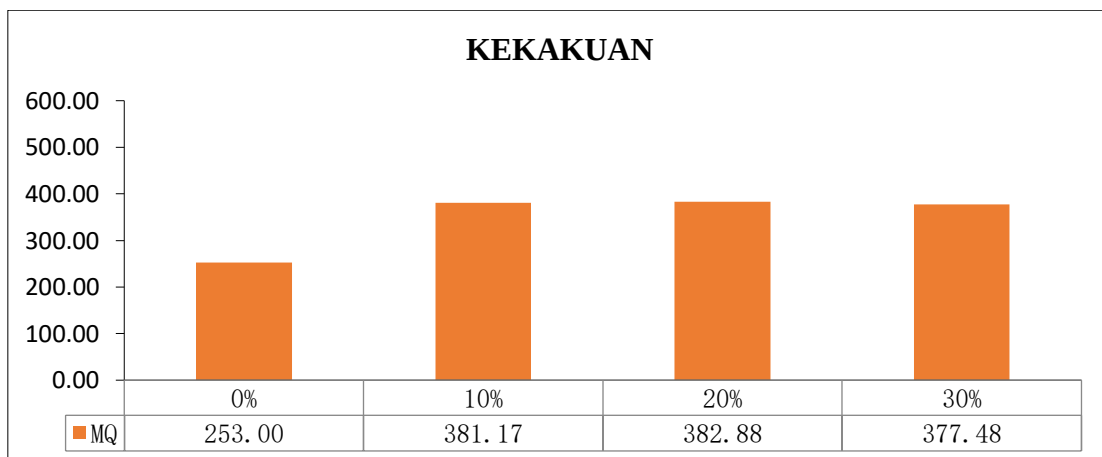
Dari hasil pengujian marshall benda uji aspal variasi plastik PET didapatkan hasil sebagaimana tercantum pada tabel 4.26 dan gambar 4.10. Pada hasil yang diamati pada grafik berdasarkan pada Kadar Aspal Optimum 4,5% diperoleh nilai kelelahan (flow) variasi 0% adalah 2,3 mm, 10% adalah 3,37mm, 20% adalah 3,43mm, 30% adalah 4,41mm yang artinya telah memenuhi spesifikasi campuran Aspal Porus AAPA (2004).

3. Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Kekakuan

Kekakuan merupakan nilai pendekatan dalam mengukur nilai kekakuan suatu campuran beraspal dalam menerima beban. Pada campuran Aspal Porus AAPA (2004) berdasarkan spesifikasi nilai minimum yang harus dicapai adalah 250 kg/mm. Adapun hasil nilai hasil bagi marshall pada pengujian variasi karet ini dapat dilihat pada tabel 4.27 dan gambar 4.11 sebagai berikut:

Tabel 4. 27 Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Kekakuan

Kadar Aspal	Variasi Plastik PET	Kekakuan
4,5 %	0%	253,00
4,5 %	10%	381,17
4,5 %	20%	382,88
4,5 %	30%	377,48



Gambar 4. 11 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Variasi Karet Terhadap Kekakuan

Sumber: Hasil Perhitungan variasi Plastik PET Marshall, 2024

Dari hasil pengujian marshall benda uji aspal variasi plastik PET didapatkan nilai kekakuan seperti yang tercantum pada tabel 4.28 dan gambar 4.11 dari hasil yang didapatkan

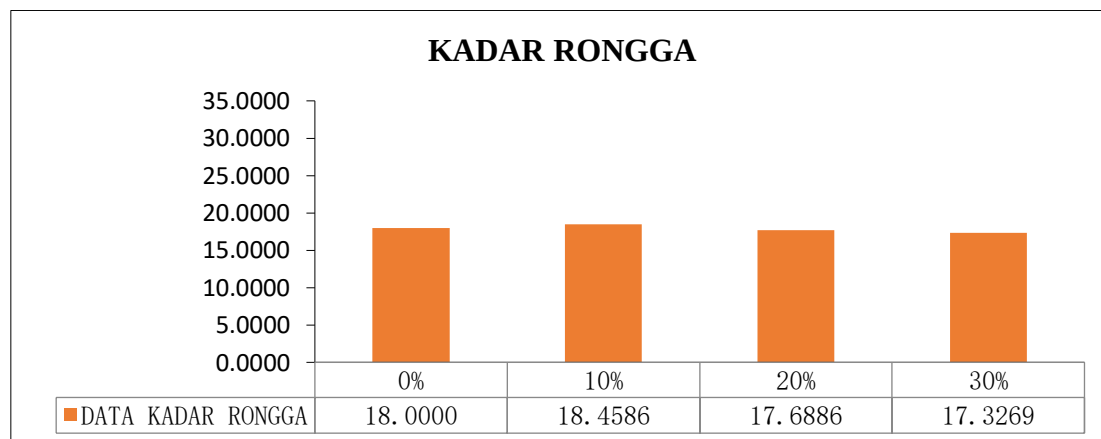
dapat dinyatakan bahwa keseluruhan benda uji aspal nilai marshall quotient-nya memenuhi spesifikasi, karena nilai maksimal 400 kg/mm. Dengan hasil tersebut pada Kadar Aspal Optimum 4,5% didapatkan nilai kekakuan variasi 0% adalah 253 kg/mm, 10% adalah 381,17 kg/mm, 20% adalah 382,88 kg/mm, dan 30% 377,48 kg/mm, yang artinya telah memenuhi spesifikasi campuran Aspal Porus AAPA (2004).

4. Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Kadar Rongga

Pada campuran beraspal porus nilai kadar rongga yang disyaratkan adalah 18-25%. Suatu perkerasan yang nilai kadar rongga nya kurang dari 18% akan mudah mengalami deformasi plastis yaitu pada saat temperature tinggi aspal akan mencair dan mencari ruang kosong, yang juga akan mengakibatkan bleeding atau aspal naik ke permukaan. Sebaliknya, nilai kadar rongga yang terlalu besar akan mengakibatkan perkerasan kurang kedapannya yang mengakibatkan keretakan dan turunnya umur perkerasan aspal tersebut. Untuk hasil nilai kadar rongga pada pengujian ini dapat dilihat pada tabel 4.28 dan gambar 4.12 berikut:

Tabel 4. 28 Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Kadar Rongga

Kadar Aspal	Variasi PlastikPET	Kadar Rongga
4,5 %	0%	18,00
4,5 %	10%	18,45
4,5 %	20%	17,68
4,5 %	30%	17,32



Gambar 4. 12 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Variasi Karet Terhadap Kadar rongga
Sumber: Hasil Perhitungan Varasi Plastik PET Marshall, 2024

Dari hasil pengujian marshall benda uji aspal variasi Plastik didapatkan nilai kadar rongga (VIM) seperti yang tercantum pada tabel 4.28 dan gambar 4.11. Dengan hasil tersebut pada Kadar Aspal Optimum 4,5% didapatkan nilai kadar rongga (VIM) variasi karet 0% adalah 18%, 10% adalah 18,45%, 20% adalah 17,68% dan 25% adalah 17,32%. yang artinya kadar 0% dan 10% memenuhi spesifikasi sedangkan kadar 20% dan 30% tidak memenuhi spesifikasi campuran Aspal Porus AAPA (2004).

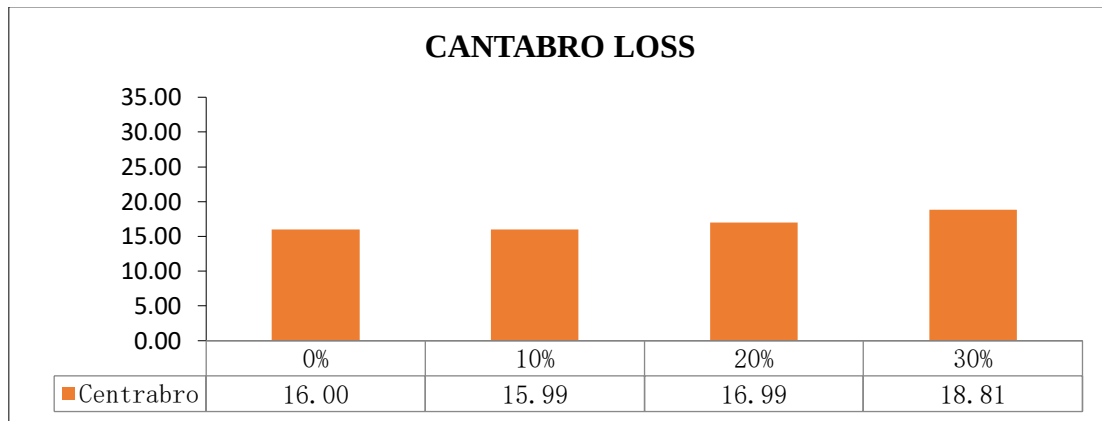
5. Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Cantabro Loss

Pada spesifikasi, nilai Cantabro Loss yang disyaratkan untuk aspal porus adalah maksimal 35%. Nilai Cantabro Loss yang terlalu kecil mengakibatkan Jika nilai cantabro loss terlalu kecil, ini dapat mengindikasikan bahwa aspal tersebut cenderung kurang stabil atau kurang mampu menghilangkan komponen volatilnya pada suhu yang sesuai. Sebaliknya, apabila nilai cantabro loss terlalu besar dapat mengakibatkan terjadinya keausan pada aspal. Untuk hasil cantabro loss pada pengujian marshall ini dapat dilihat pada tabel 4.29 dan gambar 4.12

berikut:

Tabel 4. 29 Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Uji Cantabro Loss

Kadar Aspal	Variasi Karet	CantabroLoss
4,5 %	0%	16,00
4,5 %	10%	15,99
4,5 %	20%	16,99
4,5 %	30%	18,81



Gambar 4. 13 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Variasi Plastik PET Terhadap Cantabro Loss
Sumber: Hasil Perhitungan Cantabro Loss, 2024

Dari hasil pengujian cantabro loss benda uji aspal variasi plastik dapat dilihat nilai uji cantabro loss test yang didapatkan sebagaimana yang tercantum pada tabel 4.29 dan gambar 4.12 didapatkan hasil bahwa dari uji cantabro loss memenuhi spesifikasi. Dengan hasil tersebut pada Kadar Aspal Optimum 4,5% didapatkan nilai cantabro loss variasi karet 0% adalah 16,00%, 10% adalah 15,99%, 20% adalah 16,99% dan 30% adalah 18,81% yang artinya telah memenuhi spesifikasi campuran beraspal porus (AAPA 2004).

m) Penggambungan Nilai Karakteristik Marshall, Cantabro Loss, dan Permeabilitas

Adapun Nilai Karakteristik Marshall dilakukan berdasarkan hasil sifat-sifat campuran aspal dengan penambahan limbah plastik PET dapat dilihat pada tabel 4.30 berikut:

Tabel 4. 30 Pengaruh Penambahan Limbah Plastik PET

Sifat-Sifat Campuran	Kadar Limbah Plastik PET (%)				SPESIFIKASI
	0%	10%	20%	30%	
Jumlah Tumbukan	50	50	50	50	50
Stabilitas	573,832	1276,005	1323,664	1632,165	Min 500
Flow	2,3	3,37	3,43	4,41	2-6%
VIM	18,00	18,45	17,68	17,32	18-25%
MQ	253,00	381,17	382,88	377,48	250-400kg/mm
Cantabro Loss	16,00	15,99	16,99	18,81	Maks 35%

Permeabilitas	0,01083	0,01060	0,00965	0,00816	0,01-0,5cm/s
---------------	---------	---------	---------	---------	--------------

Sumber: Hasil Perhitungan Marshall Benda Uji Aspal dengan Substitusi Agregat Kasar Limbah Plastik PET, 2024

Dari data pada tabel 4.30 tersebut dapat dilihat bahwa seluruh variasi benda uji aspal dengan substitusi agregat kasar limbah plastik PET variasi 0%, 10%, 20% dan 30% memenuhi spesifikasi AAPA (2004) untuk nilai Stabilitas, Flow, Marshall Quotient (MQ), dan Cantabro Loss,. Sedangkan Kadar Rongga dan Permeabilitas pada variasi persentase 20%, dan 30% tidak memenuhi spesifikasi AAPA 2004. Dapat disimpulkan bahwa semakin meningkat persentase plastik pada agregat akan menutupi rongga pada benda uji aspal pori dan sebaliknya semakin meningkat nya persentase plastik PET maka akan meningkat nya nilai stabilitas, Flow, dan Kekakuan benda uji aspal pori.

SIMPULAN

Dari Penelitian Ini Dapat Disimpulkan Bahwa Sebagai Berikut:

1. Dari Pengujian Marshall didapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO) yang dilakukan dengan mengamati sifat-sifat campuran aspal hasil dari pengujian marshall yang meliputi Stabilitas, Flow, Kadar Rongga, AFD dan Kekakuan. Maka dari hasil penelitian ini didapat kadar Aspal Optimum 4,5%. Untuk nilai Stabilitas sebesar 560 kg, untuk nilai Kelelahan sebesar 2,4 %, untuk nilai Kadar Rongga sebesar 18,00%, untuk nilai Aspal Flow Down (AFD) sebesar 0,04 dan untuk nilai Kekakuan sebesar 250,00 yang artinya telah memenuhi spesifikasi campuran aspal porus AAPA 2004.
2. Dari Pengujian Cantabro Loss didapatkan hasil nilai sebesar 15,10% yang artinya memenuhi spesifikasi campuran aspal porus AAPA 2004.
3. Dari Pengujian Permeabilitas didapatkan hasil nilai sebesar 0,01083 cm/s yang artinya memenuhi spesifikasi campuran aspal porus AAPA 2004.
4. Dari hasil penelitian ini nilai Marshall, Cantabro Loss, dan Permeabilitas sebagai bahan tambah pada variasi limbah plastic PET 10%, 20%, 30% pada campuran aspal porus sebagai berikut:
 - a. Stabilitas 10% = 1276,005 Kg, 20% = 1323,664 Kg dan 30% = 1632,265 Kg. Dengan Spesifikasi Minimum Sebesar 500 Kg.
 - b. Flow 10% = 3,37%, 20% = 3,43% dan 30% = 4,41%. Dengan Spesifikasi Minimum dan Maksimum sebesar 2 - 6%.
 - c. Kadar Rongga 10% = 18,45%, 20% = 17,68% dan 30% = 17,32%. Dengan Spesifikasi Minimum dan Maksimal sebesar 18 - 25%.
 - d. Kekakuan 10% = 381,17 Kg/mm, 20% = 382,88 Kg/mm, 30% = 337,48 Kg/mm. Spesifikasi Maksimum sebesar 400 Kg/mm.
 - e. Cantabro Loss 10% = 15,99%, 20% = 16,99% dan 30% = 18,81%. Dengan Spesifikasi Maksimum sebesar 35%.
 - f. Permeabilitas 10% = 0,01060 cm/s, 20% = 0,009813 cm/s dan 30 = 0,0816 cm/s. Dengan Spesifikasi Minimum dan Maksimum 0,01 – 0,5 cm/dt

Jadi dari hasil penelitian ini semua variasi plastik PET yang memenuhi spesifikasi adalah nilai Stabilitas, Flow, Kekakuan, dan Cantabro Loss. Sedangkan Kadar Rongga dan Permeabilitas 20% dan 30% belum memenuhi spesifikasi AAPA 2004. Jadi dapat disimpulkan bahwa semakin meningkat persentase plastik PET pada aspal maka akan menutupi rongga pada benda uji aspal pori, namun sebaliknya semakin meningkat nya persentase plastik PET maka akan meningkat nya hasil dari Stabilitas, Kelelahan (Flow), dan Cantabro Loss pada benda uji aspal pori. .

DAFTAR PUSTAKA

- Surya, A & Ariefahnoor, D. (2019) Pengelolaan Dan Pengolahan Sampah Pasar Desa Gudang Tengah Melalui Konsep 3 R Dan Teknologi Lingkungan. Uniska MAB, Banjarmasin, Kalimantan Selatan.

- https://scholar.google.co.id/citations?view_op=view_citation&hl=en&user=mI0WZ9MAAAJ&citation_for_view=mI0WZ9MAAAJ:hqOjcs7Dif8C
- Ali, N., Arfan, H., Patanduk, J., & Hustim, M. (2013). Studi Permeabilitas Campuran Aspal Berpori Berbasis Aspal Buton (Asbuton). Seminar Nasional III Teknik Sipil 2013, 239–245.
- Ayun, Q., & Prastyanto, C. A. (2021). Analisis Pengaruh Variasi Gradasi Aspal Porus Terhadap Parameter Marshall dan Permeabilitas. Jurnal Aplikasi Teknik Sipil, 19(1), 55. <https://doi.org/10.12962/j2579-891x.v19i1.8482>
- Zukisa, Alamsyah, W & Basrin, D. (2023) PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH BOTOL PLASTIK PET SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI ASPAL PORUS PENETRASI 60/70.
- Erita, C, A, Guswandi & Lizar. (2019) PENGARUH PENCAMPURAN LIMBAH PLASTIK PET (POLYETHYLENE TEREPHTHALATE) TERHADAP NILAI MARSHALL ASPAL PORI.
- Bitu, L, G, & Putri, A. (2022) PENGARUH PENGGUNAAN LIMBAH PLASTIK (POLIMER PET) SEBAGAI BAHAN TAMBAH TERHADAP KARAKTERISTIK ASPAL POROUS.
- Pranoto, S, B. (2019) KAJIAN EKSPERIMENTAL PENAMBAHAN PLASTIK PET (POLYETHYLENE TEREPHTHALATE) DAN ASBUTON LGA (LAWELE GRANULAR ASPHALT) PADA CAMPURAN ASPAL PORUS.
- Jasman, Widarto, H & Hidayat, A. (2021) STUDI PENGGUNAAN ASPAL MODIFIKASI PADA CAMPURAN ASPAL PORUS.
- Talehala, A. (2023) PLASTIK SEBAGAI BAHAN CAMPURAN ASPAL.
- Nur, H, S & Sarmadhan. (2020) STUDI EKPERIMENTAL KUAT TEKAN ASPAL PORUS DENGAN ASPAL PENETRASI 60/70 UNTUK LAPIS PEMUKAAN JALAN.
- Jasman, Widarto, H & Hidayat, A. (2021) STUDI PENGGUNAAN ASPAL MODIFIKASI PADA CAMPURAN ASPAL PORUS.
- Spesifikasi AAPA (Australian Asphalt Pavement Assosiacion) 2024
- Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2