



Pemanfaatan Penambahan Limbah *Inner-Tube Rubber* dan Penggunaan Abu Cangkang Kemiri Sebagai Substitusi *Filler* pada Campuran AC-WC

Lis Ayu Widari^{1*}, Muthmainnah², Adzuha Desmi³, Syibral Malasyi⁴, Putri Utami⁵

¹⁻⁵Universitas Malikussaleh, Indonesia

Alamat : Cot Tengku Nie Reuleut, Muara Batu, North Aceh Regency, Aceh, Indonesia

E-mail : lisayu@unimal.ac.id¹, muthmainnah@unimal.ac.id², adzuha@unimal.ac.id³,
syibral@unimal.ac.id⁴, putri.200110151@mhs.unimal.ac.id⁵

Korespondensi Penulis : lisayu@unimal.ac.id

Abstract. Various problems that occur in asphalt damage in Indonesia have triggered new innovations to deal with existing problems, one of which is by improving the quality of asphalt by adding substances (additives) or substitutions to the aggregate composition. This study aims to determine the utilization of inner tube rubber waste and the use of candlenut shell ash as a substitute filler in the AC-WC mixture. This study is an experimental study. The manufacture of test objects using an AC-WC mixture with a total of 18 test objects was then tested using the Marshall method. The results of this study indicate that the use of inner-tube rubber waste and candlenut shell ash greatly affects the Marshall parameter value. With an Optimum Asphalt Content of 6%, the best variation content was obtained at 3% of inner tire rubber additives and 25% substitution of candlenut shell ash as filler with a density value of 2.341 gr/cm³, VMA 15.50%, VIM 4.36%, VFA 71.87%, stability 1730.79 kg, flow 3.36 mm and MQ 565.01 kg/mm which meets the 2018 Bina Marga Specifications Revision 2.

Keywords: Inner-tube rubber waste, Candlenut shell ash, AC-WC mixture, Marshall parameters.

Abstrak. Berbagai permasalahan yang terjadi terhadap kerusakan aspal di Indonesia memicu timbulnya inovasi baru untuk menangani masalah yang ada salah satunya dengan meningkatkan kualitas aspal dengan cara penambahan zat tambah (additive) maupun substitusi pada komposisi agregat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pemanfaatan penambahan limbah inner-tube rubber dan penggunaan abu cangkang kemiri sebagai substitusi filler pada campuran ac-wc. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental. Pembuatan benda uji menggunakan campuran AC-WC dengan jumlah total 18 benda uji kemudian diuji menggunakan metode marshall. Hasil dari penelitian ini menunjukkan penggunaan limbah inner-tube rubber dan abu cangkang kemiri sangat berpengaruh terhadap nilai parameter marshall. Dengan Kadar Aspal Optimum 6%, diperoleh kadar variasi terbaik pada 3% bahan tambah inner-tube rubber dan 25% substitusi abu cangkang kemiri sebagai filler dengan nilai density 2,341 gr/cm³, VMA 15,50%, VIM 4,36%, VFA 71,87%, stability 1730,79 kg, flow 3,36 mm dan MQ 565,01 kg/mm yang memenuhi Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2.

Kata kunci: Limbah karet tabung dalam, abu cangkang kemiri, campuran AC-WC, parameter Marshall.

1. LATAR BELAKANG

Aspal sering digunakan sebagai bahan lapisan permukaan jalan dengan tujuan membuat lapisan tersebut kedap air, serta memberikan kontribusi terhadap tegangan tarik yang signifikan dalam meningkatkan daya dukung lapisan terhadap beban roda kendaraan. Perkerasan lentur terdiri dari beberapa komponen utama, yakni tanah dasar (subgrade), lapisan fondasi bawah (subbase course), lapisan fondasi (base course), dan lapisan permukaan (surface course). Beragam jenis lapisan permukaan dalam perkerasan lentur mencakup salah satunya adalah lapis aspal beton (asphalt concrete

atau AC).

Aspal beton (AC) terdiri dari tiga jenis campuran, yaitu Laston Lapis Pondasi (AC-Base), Laston Lapis Pengikat (AC-BC), dan Laston Lapis Aus (AC-WC). Lapisan aspal beton (Laston) adalah sebuah konstruksi perkerasan jalan yang tersusun dari campuran aspal, agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi (filler). Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) adalah lapisan perkerasan yang berada di bagian paling atas dan berfungsi sebagai lapisan aus. Menurut Manual aspal modifikasi (SBS) direkomendasikan untuk digunakan pada lapisan aus (wearing course) di jalan yang memiliki repetisi lalu lintas lebih dari 10 juta ESA (Equivalent Standard Axles) selama 20 tahun. Berbagai permasalahan yang menyebabkan kerusakan aspal di Indonesia telah mendorong munculnya inovasi baru dalam menangani masalah tersebut, salah satunya adalah dengan meningkatkan kualitas aspal melalui penambahan zat aditif (additive) (Manual Desain Perkerasan Jalan, (2017).

Limbah *inner-tube rubber* atau Limbah ban dalam adalah salah satu kontributor terbesar terhadap akumulasi sampah dan merupakan material yang tidak dapat terurai oleh organisme sehingga sifatnya permanen. Pembakaran limbah ini akan menghasilkan pembakaran yang tidak sempurna, yang melepaskan Karbon Monoksida (CO) dan Karbon Dioksida (CO₂) yang sangat berbahaya bagi kesehatan dan lingkungan. Salah satu sifat positif dari limbah karet adalah ketahanannya terhadap air, fleksibilitas dan kelenturannya yang baik, serta kemampuannya dalam meredam getaran. Banyak penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan campuran aspal yang memiliki viskositas yang baik dan daya tahan yang lama (Nainggolan, (2021).

Kemiri menjadi salah satu tanaman perkebunan di Indonesia yang termasuk dalam family euphorbiaceae. Kemiri memiliki dua lapisan kulit, yaitu kulit buah dan cangkang. Dari setiap kilogram biji kemiri, sekitar 30% terdiri dari buah, sementara 70% sisanya adalah cangkang. Selama ini, cangkang kemiri hanya dianggap sebagai limbah dan kurang dimanfaatkan dalam dunia industri. Penelitian Lempang, Syafii and Pari, (2011) memperlihatkan bahwa cangkang kemiri mengandung holoselulosa sebanyak 49,22%, pentosa 14,55%, dan lignin 54,46%. Ketika dicampurkan dengan aspal, komponen-komponen ini akan bereaksi dan meningkatkan karakteristik campuran aspal, serta meningkatkan ketahanan terhadap keretakan pada perkerasan aspal.

Berdasarkan latar belakang diatas maka peneliti tertarik untuk menarik judul penelitian yaitu “PEMANFAATAN PENAMBAHAN LIMBAH INNER-TUBE RUBBER DAN PENGGUNAAN ABU CANGKANG KEMIRI SEBAGAI

SUBSTITUSI FILLER PADA CAMPURAN AC-WC”.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental dengan menggunakan bahan tambah inner-tube rubber dengan variasi 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5% dari berat aspal dan substitusi filler abu cangkang kemiri dengan kadar 25% terhadap berat filler. Limbah inner-tube rubber yang dipakai di dapat dari bengkel yang ada di Lhokseumawe dan abu cangkang kemiri yang digunakan berasal dari limbah usaha pedagang kemiri yang berada di Krueng Grukuk, Lhokseumawe. Pembuatan benda uji menggunakan campuran AC-WC dengan jumlah total 18 benda uji kemudian diuji menggunakan metode marshall.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini mencakup beberapa tahapan, mulai dari pemeriksaan agregat kasar dan halus, pembuatan benda uji, hingga pengujian benda uji untuk memperoleh nilai Kadar Aspal Optimum (KAO). Hasil akhir diperoleh melalui pengujian Marshall pada campuran aspal beton AC-WC, yang sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2:

Pemeriksaan Sifat Fisis Material

Pemeriksaan dilakukan pada agregat kasar batu pecah $\frac{3}{4}$, diperoleh data-data dari hasil pemeriksaan tersebut untuk dilakukan perhitungan berat jenis. Adapun data yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1

No	Uraian		I	II	III	rata-rata
1	Berat Benda Uji Kering Jenuh (Bj)	gram	1500	1500	1500	1500
2	Berat Benda Uji Kering oven (Bk)	gram	1460,2	1458,6	1459,9	1459,567
3	Berat Benda Uji Dalam air (Ba)	gram	922,4	923,3	923,5	923,067

Data berat jenis batu pecah $\frac{3}{4}$ dihitung dengan menggunakan persamaan 2.1, 2.2, 2.3, dan 2.4. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2

No	Sifat Agregat	Persyaratan		Hasil	
		Min	Max		
1	Berat Jenis Bulk	2,5	-	2,530	M
2	Berat Jenis SSD	2,5	-	2,600	M
3	Berat Jenis Semu (Apparent)	2,5	-	2,721	M
4	Penyerapan Air (Absorpsi)(%)		3	2,770	M

Pada tabel 2 diperoleh hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air dari batu pecah $\frac{3}{4}$ yang memenuhi spesifikasi sehingga agregat tersebut dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya. Setelah itu dilanjutkan dengan pengujian berat jenis dan penyerapan air batu pecah $\frac{3}{8}$, untuk data berat jenis batu pecah $\frac{3}{8}$ dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3 Data berat jenis batu pecah $\frac{3}{8}$

No	Uraian		I	II	III	rata-rata
1	Berat Benda Uji Kering Jenuh	gram	1500	1500	1500	1500
2	Berat Benda Uji Kering oven	gram	1458,2	1458,7	1457,6	1458,17
3	Berat Benda Uji Dalam air	gram	919,2	923	919,7	920,63

Dari data berat jenis batu pecah $\frac{3}{8}$ di atas dilakukan perhitungan dengan persamaan 2.1 (bulk), 2.2 (ssd), 2.3 (apparent) dan 2.4 (absorbs). Maka diperoleh hasil perhitungannya pada tabel 4

Tabel 4

No	Sifat Agregat	Persyaratan		Hasil	
		Min	Max		
1	Berat Jenis Bulk	2,5	-	2,517	M
2	Berat Jenis SSD	2,5	-	2,589	M
3	Berat Jenis Semu (Apparent)	2,5	-	2,713	M
4	Penyerapan Air (Absorpsi)(%)		3	2,869	M

Pada tabel 4 diperoleh hasil perhitungan menggunakan data berat jenis pada tabel 3, hasil keseluruhan pada batu pecah $\frac{3}{4}$ dan $\frac{3}{8}$ memenuhi spesifikasi sehingga

agregat tersebut dapat digunakan dalam campuran aspal beton.

1. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus

Tabel 5

No	Uraian		I	II	III	rata-rata
1	Berat Benda Uji Kering Jenuh	gram	500	500	500	500
2	Berat Benda Uji Kering Oven	gram	497,3	496,7	495,9	496,633
3	Berat Piknometer + air + plat kaca	gram	2035,1	2035,1	2035,1	2035,1
4	Berat Piknometer + benda uji + air + plat kaca	gram	2347,1	2346,5	2346,1	2346,567

Data berat jenis pasir dihitung menggunakan persamaan 2.5 (bulk), 2.6 (ssd), 2.7 (apparent) dan 2.8 (absorpsi), maka diperoleh nilai dari hasil perhitungan seperti pada Tabel 6.

Tabel 6

No	Sifat Agregat	Persyaratan		Hasil	
		Min	Max		
1	Berat Jenis Bulk	2,5	-	2,634	M
2	Berat Jenis SSD	2,5	-	2,652	M
3	Berat Jenis Semu (Apparent)	2,5	-	2,682	M
4	Penyerapan Air (Absorpsi) (%)		3	0,678	M

Pada tabel 6 diperoleh hasil perhitungan berat jenis dan penyerapan air pasir yang memenuhi spesifikasi sehingga agregat tersebut dapat digunakan untuk campuran aspal beton. Kemudian dilanjutkan dengan pengujian berat jenis dan penyerapan air abu batu (dust), untuk data berat jenis dust dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7

No	Uraian		I	II	III	rata-rata
1	Berat Benda Uji Kering Jenuh	gram	500	500	500	500
2	Berat Benda Uji Oven	gram	496,7	480,6	479,4	479,700
3	Berat Piknometer + air + plat kaca	gram	2035,1	2035,1	2035,1	2035,1
4	Berat Piknometer + benda uji + air + plat kaca	gram	2344,4	2343,5	2343,2	2343,700

Data berat jenis dust dihitung menggunakan persamaan 2.5 (bulk), 2.6 (ssd), 2.7 (apparent) dan 2.8 (absorpsi), maka diperoleh nilai dari hasil perhitungan seperti pada Tabel 8.

Tabel 8

No	Sifat Agregat	Persyaratan		Hasil	
		Min	Max		
1	Berat Jenis Bulk	2,5	-	2,506	M
2	Berat Jenis SSD	2,5	-	2,612	M
3	Berat Jenis Semu (<i>Apparent</i>)	2,5	-	2,804	M
4	Penyerapan Air (<i>Absorpsi</i>) (%)		3	2,999	M

Pada Tabel 8 diperoleh hasil berat jenis dan penyerapan air dari dust yang memenuhi spesifikasi sehingga dapat digunakan pada campuran aspal beton.

2. Pengujian Berat Isi

Pengujian berat isi dilakukan untuk mengetahui sifat fisis dari agregat yang akan digunakan dalam campuran aspal beton. Adapun hasil dari pengujian berat isi dapat dilihat pada Tabel 9

Tabel 9 Hasil pemeriksaan berat isi agregat

No	Jenis Agregat	Gembur	Padat	Satuan
1	Agregat Kasar (3/4")	1,245	1,386	gram/cm ³
2	Agregat Sedang (3/8")	1,336	1,397	gram/cm ³
3	Agregat Halus (Dust)	1,522	1,634	gram/cm ³
4	Agregat Halus (Pasir)	1,533	1,621	gram/cm ³

Dari hasil pengujian berat jenis tersebut diperoleh berat sisi agregat kasar (3/4) pada kondisi gembur yaitu 1,245 gr/cm³ dan berat isi pada kondisi padat yaitu 1,386 gr/cm³, berat isi agregat kasar (3/8) pada kondisi gembur yaitu 1,336 gr/cm³ dan berat isi pada kondisi gembur 1,397 gr/cm³, berat isi agregat halus (*dust*) pada kondisi gembur yaitu 1,522 gr/cm³ dan pada kondisi padat 1,634 gr/cm³, berat isi agregat halus (pasir) pada kondisi gembur yaitu 1,533 gr/cm³ dan kondisi padat 1,621 gr/cm³. Pada pengujian ini tidak terdapat nilai batasan minimum dan maksimum sehingga material dapat digunakan pada pengujian selanjutnya.

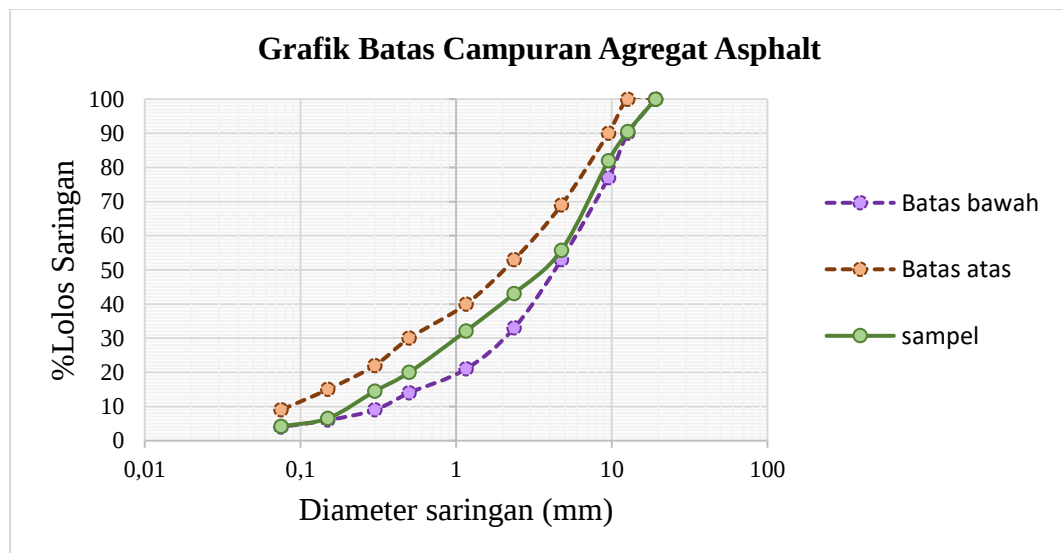
3. Penentuan Gradasi Campuran

Penentuan gradasi campuran adalah proses pembuatan *mix design* yang diperoleh berdasarkan pengujian sifat fisis material. Gradasi campuran ditentukan dari hasil analisa saringan yang harus memenuhi persen lolos agregat berdasarkan spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2. Untuk tabel penentuan gradasi campuran dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10 Penentuan gradasi campuran (*mix design*)

Ayakan	Ukuran	% Lolos					% Mix Design					Total mix	Spesifikasi Bina Marga 2018		
		CA (3/4")	MA (3/8")	Dust	Pasir	filler	CA 20	MA 28	Dust 35	Pasir 14	filler 3		Min	Max	Ket
No	(mm)											100			
3/4"	19,1	100,00	99,99	100	100	100	20,00	28,00	35,00	14,00	3,0	100,0	100	100	M
1/2"	12,7	52,34	99,96	100	100	100	10,47	27,99	35,00	14,00	3,0	90,5	90	100	M
3/8"	9,52	10,28	99,70	100	100	100	2,06	27,92	35,00	14,00	3,0	82,0	77	90	M
No. 4	4,75	0,81	13,59	100	99	100	0,16	3,80	34,99	13,80	3,0	55,8	53	69	M
No. 8	2,36	0,81	0,57	75	96	100	0,16	0,16	26,29	13,46	3,0	43,1	33	53	M
No. 16	1,16	0,68	0,55	48	85	100	0,14	0,15	16,89	11,96	3,0	32,1	21	40	M
No. 30	0,5	0,15	0,10	23	65	100	0,03	0,03	7,91	9,03	3,0	20,0	14	30	M
No. 50	0,3	0,07	0,08	17	38	100	0,01	0,02	6,04	5,37	3,0	14,5	9	22	M
No.100	0,15	0,06	0,07	6	11	100	0,01	0,02	1,99	1,52	3,0	6,6	6	15	M
No. 200	0,075	0,05	0,07	1	5	100	0,01	0,02	0,39	0,75	3,0	4,2	4	9	M

dapat dilihat tabel gradasi campuran asphalt yang diperoleh dari proporsi fraksi agregat kasar (CA) yaitu 20%, fraksi agregat halus (MA) yaitu 28%, fraksi *dust* 35%, fraksi pasir 14% dan fraksi *filler* 3%. Grafik gradasi campuran dapat dilihat pada Gambar 1



Grafik 1 Gradasi Campuran *Asphalt*

Benda Uji

Pembuatan benda uji ini mengacu pada Spesifikasi Bina Marga 2018 (Revisi 2), setelah hasil persentase lolos saringan terhadap masing-masing gradasi butiran didapatkan maka nilai Pb yang didapatkan berdasarkan perhitungan 2.17 diperoleh perkiraan rentang kadar aspal rencana seperti pada Tabel 11

Tabel 1 Perkiraan kadar aspal

I	II	Pb	IV	V
4	4,5	5	5,5	6

Berdasarkan nilai kadar aspal di atas, maka dilakukan perhitungan proporsi untuk campuran komposisi aspal beton. Komposisi campuran setiap variasinya diperlihatkan pada Tabel 12

Tabel 2 Komposisi aspal beton KAO

No.	KAO	Material(gr)					
		CA(3/4)	MA(3/8)	Pasir	Dust	Filler	Aspal
1	4%	230,4	322,6	161,3	403,2	34,56	48
2	4,5%	229,2	320,9	160,4	401,1	34,38	54
3	5%	228	319,2	159,6	399	34,20	60
4	5,5%	226,8	317,5	158,8	396,9	34,02	66
5	6%	225,6	315,8	157,9	394,8	33,84	72

Berdasarkan hasil pada nilai kadar aspal optimum (KAO) diperoleh 6% (72 gr) maka untuk pembuatan benda uji variasi bahan tambah limbah inner-tube rubber dan abu cangkang kemiri menggunakan aspal dengan kadarr 6% (72 gr).

Tabel 3 Komposisi aspal beton variasi 0 % bahan tambah limbah *inner-tube rubber* dan 25 % abu cangkang kemiri

Material	Persen (%)	Berat (gr)
CA	20	225,6
MA	28	315,84
Dust	35	394,8
Pasir	14	157,92
Filler	3	25,38
Aspal	6	72
Inner-tube Rubber	0	0
Abu cangkang kemiri	25	8,46
Total		1200

Tabel 4 Komposisi aspal beton variasi 1 % bahan tambah limbah *inner-tube rubber* dan 25 % abu cangkang kemiri

Material	Persen (%)	Berat (gr)
CA	20	225,6
MA	28	315,84
Dust	35	394,8
Pasir	14	157,92
Filler	3	25,38
Aspal	6	72
Inner-tube Rubber	1	0,72
Abu cangkang kemiri	25	8,46
Total		1200,72

Tabel 5 Komposisi aspal beton variasi 2 % bahan tambah limbah *inner-tube rubber* dan 25 % abu cangkang kemiri

Material	Persen (%)	Berat (gr)
CA	20	225,6
MA	28	315,84
Dust	35	394,8
Pasir	14	157,92
Filler	3	25,38
Aspal	6	72
Inner-tube Rubber	2	1,44
Abu cangkang kemiri	25	8,46
Total		1201,44

Tabel 6 Komposisi aspal beton variasi 3 % bahan tambah limbah *inner-tube rubber* dan 25 % abu cangkang kemiri

Material	Persen (%)	Berat (gr)
CA	20	225,6
MA	28	315,84
Dust	35	394,8
Pasir	14	157,92
Filler	3	25,38
Aspal	6	72
Inner-tube Rubber	3	2,16
Abu cangkang kemiri	25	8,46
Total		1202,16

Tabel 7 Komposisi aspal beton variasi 4 % bahan tambah limbah *inner-tube rubber* dan 25 % abu cangkang kemiri

Material	Persen (%)	Berat (gr)
CA	20	225,6
MA	28	315,84
Dust	35	394,8
Pasir	14	157,92
Filler	3	25,38
Aspal	6	72
Inner-tube Rubber	4	2,88
Abu cangkang kemiri	25	8,46
Total		1202,88

Tabel 8 Komposisi aspal beton variasi 5 % bahan tambah limbah *inner-tube rubber* dan 25 % abu cangkang kemiri

Material	Persen (%)	Berat (gr)
CA	20	225,6
MA	28	315,84
Dust	35	394,8
Pasir	14	157,92
Filler	3	25,38
Aspal	6	72
Inner-tube Rubber	5	3,6
Abu cangkang kemiri	25	8,46
Total		1203,6

4. Parameter Marshall KAO

Nilai density, VMA, stability, flow, MQ memenuhi spesifikasi dan nilai VIM, VFA tidak memenuhi pada kadar aspal 4%, 4,5%, 5%, 5,5%. Pada kadar aspal 6% semua nilai dari parameter *marshall* memenuhi spesifikasi seperti yang diperlihatkan pada Tabel 19.

Tabel 9 Hasil pengujian *marshall* untuk nilai KAO

Asphalt	Density (gr/cm ³)	VMA (%)	VIM (%)	VFA (%)	Stability (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)
4%	2,241	17,6	10,7	39,1	1927,277	2,033	993,4
4,5%	2,250	17,6	9,7	44,9	1944,228	2,383	1178,3
5%	2,291	16,5	7,4	55,0	2278,538	2,803	843,8
5,5%	2,326	15,6	5,4	65,6	2186,698	3,327	765,9
6%	2,327	16,0	4,7	70,6	2184,357	3,667	618,8

Nilai dari parameter marshall untuk penentuan kadar aspal optimum yang memenuhi spesifikasi dan yang tidak memenuhi spesifikasi diperlihatkan pada Tabel 20

Tabel 10 Grafik KAO parameter *marshall*

Kriteria	Spesifikasi	4%	4,5%	5%	5,5%	6%
Density	min 2,1					
VMA	min 15					
VIM	3,0 - 5,0					
VFA	min 65					
Stability	min 800					
Flow	2,0 - 4,0					
MQ	min 250					

Kadar aspal optimum didapatkan dari kadar aspal terbaik yang memenuhi semua spesifikasi parameter *marshall* yang terletak pada kadar aspal 6%.

5. Parameter *Marshall* Variasi Limbah *Inner-tube Rubber* dan Abu Cangkang Kemiri

Dari hasil pengujian KAO diperoleh nilai kadar aspal 6% dimana kadar aspal tersebut yang akan digunakan pada pengujian selanjutnya. Pengujian selanjutnya dilakukan dengan penambahan limbah *inner-tube rubber* 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5% dan substitusi *filler* abu cangkang kemiri sebesar 25%. Hasil yang diperoleh dari pengujian marshall dengan penambahan limbah *inner-tube rubber* dan substitusi *filler* abu cangkang kemiri diperlihatkan pada Tabel 21.

Tabel. 11 Hasil pengujian marshall dengan menggunakan variasi limbah inner- tube rubber dan abu cangkang kemiri

% Limbah Inner-tube Rubber	% AC K	% Asphal	Density (gr/cm ³)	VMA (%)	VIM (%)	VFA (%)	Stability (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)
0%	25%	6%	2,347	15,31	4,15	72,92	1946,92	4,77	409,04
1%	25%	6%	2,346	15,32	4,17	72,89	2043,04	4,65	445,51
2%	25%	6%	2,344	15,40	4,26	72,64	2316,21	4,50	565,08
3%	25%	6%	2,341	15,50	4,36	71,87	1730,79	3,36	565,01
4%	25%	6%	2,337	15,65	4,54	71,12	1541,11	2,96	564,08
5%	25%	6%	2,333	15,82	4,73	70,64	1561,51	3,13	509,14
Spesifikasi Bina Marga 2018 (Revisi 2)			Min 2,1	Min 15	3,0 - 5,0	Min 65	Min 800	2,0 - 4,0	Min 250

Setelah diuji marshall didapat nilai parameter marshall yaitu *Density*, *VMA*, *VIM*, *VFA*, *Stabilitas*, *Flow*, dan *MQ*.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa penggunaan bahan tambah limbah inner-tube rubber dan abu cangkang kemiri sebagai substitusi filler pada perkerasan asphalt concrete-wearing course (AC-WC) sangat mempengaruhi nilai parameter marshall. Penambahan paling efektif terdapat pada variasi 3% bahan tambah inner-tube rubber dan 25% substitusi filler abu cangkang kemiri dengan nilai density 2,341 gr/cm³, VMA 15,50%, VIM 4,36%, VFA 71,87%, stability 1730,79 kg, flow 3,36 mm dan MQ 565,01 kg/mm. Secara garis besar penggunaan bahan tambah limbah inner-tube rubber dan abu cangkang kemiri sebagai substitusi filler dapat digunakan atau dimanfaatkan pada campuran AC-WC dan memenuhi Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2.

Dalam pelaksanaan penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan kadar limbah inner-tube rubber dengan variasi yang berbeda dan abu cangkang kemiri yang berbeda atau sebaliknya. Penggunaan aspal variasi dapat direalisasikan untuk mengetahui kinerja

campuran aspal tersebut secara langsung di lapangan. Perkerasan dengan menggunakan variasi 3%, 4%, dan 5% bahan tambah inner-tube rubber dan 25% abu cangkang kemiri dapat digunakan pada jalan dengan lalu lintas bermuatan berat pada lapisan AC-WC.

DAFTAR REFERENSI

- Agustian, K., Agusmaniza, R., & Syaifuddin, S. (2021). Evaluasi karakteristik campuran AC-BC menggunakan abu cangkang kemiri sebagai bahan substitusi filler terhadap parameter Marshall. *Portal: Jurnal Teknik Sipil*, 13(2), 86–93.
- Akhbar, H. T. (2017). Kajian parameter Marshall dengan menggunakan limbah karet ban dalam kendaraan sebagai bahan tambah pada campuran lapis aus permukaan aspal beton (AC-WC) (PhD Thesis, Universitas Negeri Jakarta). Available at: <http://repository.unj.ac.id/30205/> (Accessed: 11 January 2024).
- Anonim. (2020). Bina marga 2018 - Google Search. Available at: <https://www.google.com/search?q=bina+marga+2018&rlz=1C1GCE> (Accessed: 3 February 2024).
- Anonim. (2017). Manual desain perkerasan jalan 2017.pdf.
- Al-Amri, F. (2016). Studi perbandingan penggunaan aspal minyak dengan aspal buton Lawele pada campuran aspal concrete base course (AC-BC) menggunakan metode Marshall Test. *RADIAL: Jurnal Peradaban Sains, Rekayasa dan Teknologi*, 4(2), 181–190.
- Aldiansyah, A., & Syamsuriani, S. S. (2020). Analisis karakteristik campuran AC-WC dengan penambahan limbah ban dalam kendaraan (PhD Thesis, Politeknik Negeri Ujung Pandang). Available at: <http://repository.poliupg.ac.id/id/eprint/688> (Accessed: 11 January 2024).
- Azmi, A. R. K., Farid, A., & Salsabila, N. S. (2022). Pengaruh penambahan limbah karet ban sebagai substitusi sebagian kadar aspal terhadap stabilitas AC-BC dengan metode Marshall Test. *Rekayasa: Jurnal Teknik Sipil*, 7(1), 25–30.
- Indriani, C. N., Purwandito, M., & Alamsyah, W. (2022). Pemanfaatan ban bekas sebagai bahan tambah campuran aspal pada perkerasan jalan AC-WC terhadap nilai Marshall.
- Darunifah, N. (2007). Pengaruh bahan tambahan karet padat terhadap karakteristik campuran Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC) (PhD Thesis, Program Pascasarjana Universitas Diponegoro). Available at: <http://eprints.undip.ac.id/18493/> (Accessed: 9 February 2024).
- Gunawan, R., & Partiwi, A. P. (2023). Tambahan limbah karet ban sebagai bahan campuran perkerasan jalan AC-BC (Asphalt Concrete-Binder Course) terhadap nilai Marshall di PT. PEBANA ADI SARANA. *STATIKA: Jurnal Teknik Sipil*, 9(2), 39–43.
- Lempang, M., Syafii, W., & Pari, G. (2011). Struktur dan komponen arang serta arang aktif tempurung kemiri. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 29(3), 278–294.

- Nainggolan, D. C. (2021). Pengaruh penambahan limbah karet ban dalam bekas kendaraan terhadap karakteristik Marshall pada campuran beton aspal. Available at: <http://repository.uhn.ac.id/handle/123456789/5227> (Accessed: 13 January 2024).
- Safariska, Z., & Kurniasari, F. D. (2020). Pengaruh abu cangkang kemiri sebagai substitusi agregat halus (filler) terhadap campuran lapisan AC-WC. *Jurnal Teknik Sipil dan Teknologi Konstruksi*, 6(1), 10–19.
- Suhardi, S., Pratomo, P., & Ali, H. (2016). Studi karakteristik Marshall pada campuran aspal dengan penambahan limbah botol plastik. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, 4(2), 284–293.
- Sukirman, S. (2003). Perkerasan lentur jalan raya [Preprint]. Available at: <https://cir.nii.ac.jp/crid/1130282272108426112> (Accessed: 1 February 2024).
- Wirahaji, I. B. (2012). Analisis kadar aspal optimum LASTON lapis aus pada ruas jalan Simpang Sakah-Simpang Blahbatuh. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 16(2).