

## Perbandingan Lapisan Perkerasan AC-WC pada Campuran Aspal dengan Aspal Karet Buatan, Karet Alam dan Karet Pravulkanisasi menggunakan Metode *Marshall Test*

Irwan Nirwana Chandra<sup>1,\*</sup>, Pratikso<sup>1</sup>, Rachmat Mudiyo<sup>1</sup>

Program Doktor Teknik Sipil, Universitas Islam Sultan Agung, Semarang<sup>1</sup>

Koresponden\*, Email: [irwannirwana472@gmail.com](mailto:irwannirwana472@gmail.com)

	Info Artikel	Abstract
Diajukan	28 November 2024	<i>Road damage can be caused by several factors including failure of the road support structure, asphalt quality, inadequate asphalt content, and mixing and compaction temperatures that do not meet predetermined specifications or standards. Methods to improve quality and minimize asphalt damage can be done by modifying the mixture by adding artificial rubber asphalt, natural rubber, and vulcanized rubber as additives to the asphalt mixture. The research aims to find out how the effect and efficiency of adding variates additives to the asphalt mixture based on the results of Marshall Testing which refers to the 2018 Bina Marga revision 2 specification. The results of Marshall Testing obtained asphalt mixture with vulcanized rubber variation produce the best marshall parameter value. Furthermore, the efficiency results obtained by the asphalt mixture with natural rubber variations are the best efficiency materials analyzed for cost, availability, and strength factors.</i>
Diperbaiki	03 September 2025	
Disetujui	17 Oktober 2025	

*Keywords: asphalt, efficiency, natural rubber, marshall*

Kata kunci: aspal, efisiensi, karet alam, marshall

### Abstrak

Kerusakan jalan dapat disebabkan beberapa faktor diantaranya kegagalan struktur pendukung jalan, kualitas aspal, kadar aspal yang tidak memadai, serta temperatur pencampuran dan pemadatan yang tidak memenuhi spesifikasi atau standar yang telah ditetapkan. Metode untuk meningkatkan kualitas dan meminimalisir kerusakan aspal dapat dilakukan dengan memodifikasi campuran melalui penambahan aspal karet buatan, karet alam dan karet pravulkanisasi sebagai bahan adiktif pada campuran aspal. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh dan efisiensi penambahan berbagai variasi aditif pada campuran aspal, berdasarkan hasil pengujian marshall yang sesuai dengan spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 revisi 2. Hasil penelitian didapatkan campuran aspal dengan variasi karet pravulkanisasi menghasilkan nilai parameter marshall yang terbaik. Selanjutnya hasil efisiensi didapatkan campuran aspal dengan variasi karet alam merupakan bahan dengan efisiensi terbaik yang dianalisis terhadap faktor biaya, ketersediaan, dan kekuatan.

### 1. Pendahuluan

Infrastruktur jalan adalah fasilitas transportasi darat yang digunakan untuk berbagai aktivitas, termasuk juga kegiatan distribusi logistik yang berperan dalam mendorong pertumbuhan ekonomi. Pertumbuhan populasi penduduk Indonesia yang semakin pesat menjadi salah satu penyebab kerusakan pada infrastruktur jalan karena meningkatnya beban dan kecepatan lalu lintas. Kondisi ini berpotensi menimbulkan berbagai kerugian bagi pengguna jalan, seperti kemacetan lalu lintas, lamanya waktu tempuh untuk mencapai tujuan dan kecelakaan lalu lintas [1]. Kerusakan jalan dapat disebabkan beberapa faktor diantaranya kegagalan struktur pendukung jalan, kualitas aspal, kadar aspal yang tidak memadai, serta temperatur pencampuran dan pemadatan yang tidak memenuhi spesifikasi atau standar yang telah ditetapkan [2].

Metode untuk meningkatkan kualitas dan meminimalisir kerusakan aspal dapat dilakukan dengan memodifikasi campuran melalui penambahan karet alam sebagai bahan adiktif pada campuran aspal [3]. Langkah ini bertujuan untuk menghasilkan aspal yang lebih elastis, tahan terhadap perubahan suhu, memiliki modulus resilien tinggi, lebih tahan terhadap penuaan dan lebih memiliki daya tahan terhadap penetrasi air yang lebih baik [4].

Indonesia merupakan negara kedua penghasil karet dengan produksi mencapai 3,37 juta ton pada tahun 2020 [5]. Hasil karet alam dapat dikembangkan dan dikelola terlebih dahulu agar menjadi suatu produk yang bernilai tinggi. Di Indonesia sendiri penggunaan karet masih kurang maksimal dikarenakan fluktuasi harga yang tidak stabil, sehingga dianggap kurang menguntungkan untuk di perdagangkan sebagai komoditas. Pemerintah harusnya dapat

meningkatkan potensi karet agar dapat dimanfaatkan serta dikelola secara optimal untuk menghasilkan suatu produk atau barang yang memiliki daya saing yang tinggi, salah satunya karet alam digunakan sebagai bahan pendukung dalam pembangunan jalan. Penggunaan karet pada pembangunan jalan dapat menjadi solusi untuk meningkatkan konsumsi domestik serta membantu harga karet di pasar internasional.

Berdasarkan permasalahan tersebut maka dilakukan penelitian tentang pengujian marshall pada aspal penetrasi 60/70 dengan variasi karet buatan, karet pravulkanisasi dan karet alam sebagai penambahan zat adiktif untuk mengetahui karakteristik fisik campuran aspal dan efisiensi penggunaan karet dalam konstruksi pembangunan jalan.

## 2. Metode

Penelitian dilaksanakan di laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura, Kota Pontianak. Pada penelitian ini digunakan metode eksperimen yang bertujuan untuk menguji pengaruh variabel satu terhadap variabel lain. Penelitian dengan pengujian *Marshall Test* dilakukan untuk mendapatkan kadar aspal optimum pada campuran aspal penetrasi 60/70 dengan variasi kadar karet alam sebesar 1%, 2%, 3%, 4% dan 5%. Penelitian ini juga menggunakan penelitian terdahulu untuk referensi nilai KAO yang akan menjadi bahan eksperimen penelitian sebagai pembandingan hasil pengujian marshall dan efisiensi penggunaan. Penelitian [6] digunakan sebagai acuan campuran aspal pen 60/70, penelitian [7] digunakan sebagai acuan campuran aspal pen 60/70 dengan variasi bahan aditif karet pravulkanisasi dan penelitian [6] digunakan sebagai acuan campuran aspal penetrasi dengan variasi bahan aditif aspal karet buatan. Berikut adalah uraian pengujian yang dilakukan pada penelitian:

### a. Pengujian agregat

Pengujian agregat bertujuan untuk menentukan karakteristik serta kualitas agregat yang diuji dengan mengacu Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 revisi 2 [8]. Jenis pengujian agregat yang diuji meliputi pengujian gradasi agregat, pengujian abrasi, pengujian berat jenis dan pengujian sand equivalen.

### b. Pengujian aspal

Pengujian aspal bertujuan untuk menentukan karakteristik serta kualitas aspal yang diuji dengan mengacu Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 revisi 2 [8]. Jenis pengujian agregat yang diuji meliputi penetrasi, berat jenis aspal, daktilitas, viskositas, titik nyala dan bakar, dan kehilangan berat aspal.

### c. Perencanaan Kadar Aspal Rencana

Untuk menentukan kadar aspal optimum (KAO) diperlukan perhitungan komposisi aspal ideal. Perhitungan kadar aspal dapat menggunakan persamaan sebagai berikut[6]:

$$P = 0,035(\%AK) + 0,045(\%AH) + 0,18(\%BP) + C \quad (1)$$

Dimana :

P = Presentase agregat (minimal 75% lolos saringan No. 200)

AK = Presentase agregat kasar (tertahan saringan No.4)

BP = Estimasi awal nilai kadar aspal

AH = Presentase agregat halus (lolos saringan No.4)

C = <5% digunakan 0,15 (lolos saringan No. 200)

6-10% digunakan 0,18 (lolos saringan No. 200)

11-15% digunakan 0,15 (lolos saringan No. 200)

### d. Pengujian marshall

Pengujian marshall bertujuan untuk mengukur sejumlah parameter, seperti *Void In Mixture* (VIM), *Void Filled Bitumen* (VFB), *Void in Mineral Agregate* (VMA), *Marshall Quotient* (MQ), *flow* (pelelehan), *density* dan stabilitas. Tahapan dalam melaksanakan pengujian marshall dimulai dengan melakukan perendaman benda uji selama 24 jam pada air suhu ruangan, pengujian *density*, pengujian benda uji yang telah direndam pada suhu 60°C dan pengujian tekan dengan menggunakan alat uji *Marshall Test*.

## 3. Hasil dan Pembahasan

Hasil analisis dari pengujian terdiri dari agregat halus (pasir dan abu batu), agregat kasar (batu 1/1 dan batu 1/2) dan aspal penetrasi 60/70. Selanjutnya, dihitung nilai kadar aspal rencana untuk mengetahui kadar aspal yang digunakan pada pengujian marshall. Data hasil penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

### a. Hasil Pengujian Agregat

Pengujian agregat bertujuan untuk menentukan karakteristik atau sifat-sifat fisik agregat. Hasil pengujian agregat disajikan pada **Tabel 1** hingga **Tabel 4**.

**Tabel 1.** Hasil pengujian agregat halus (pasir)

Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Spesifikasi	Hasil Pengujian
Berat Jenis Semu (gr/cm <sup>3</sup> )	SNI 1970 : 2016	≥ 2,5	2,578
Berat Jenis SSD (gr/cm <sup>3</sup> )	SNI 1970 : 2016	≥ 2,5	2,590
Berat Jenis <i>Bulk</i> (gr/cm <sup>3</sup> )	SNI 1970 : 2016	≥ 2,5	2,580
Penyerapan (%)	SNI 1970 : 2016	Maks 3%	0,394
<i>Sand Equivalent</i> (%)	SNI 03-4428-1997	Min 65%	89,583

Berdasarkan **Tabel 1** hasil pengujian agregat halus (pasir), didapatkan nilai berat jenis semu adalah 2,578gr/cm<sup>3</sup>, berat jenis SSD adalah 2,590gr/cm<sup>3</sup>, berat jenis bulk adalah 2,580gr/cm<sup>3</sup>, nilai pengujian penyerapan adalah 0,394% dan nilai pengujian *sand equivalent* adalah 89,583%. Hasil pengujian agregat menunjukkan nilai pengujian memenuhi persyaratan sehingga agregat halus (pasir) dapat digunakan untuk pembuatan benda uji.

**Tabel 2.** Hasil Pengujian Agregat Halus (Abu Batu)

Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Spesifikasi	Hasil Pengujian
Berat Jenis Semu (gr/cm <sup>3</sup> )	SNI 1970 : 2016	≥ 2,5	2,642
Berat Jenis SSD (gr/cm <sup>3</sup> )	SNI 1970 : 2016	≥ 2,5	2,627
Berat Jenis Bulk (gr/cm <sup>3</sup> )	SNI 1970 : 2016	≥ 2,5	2,618
Penyerapan (%)	SNI 1970 : 2016	Maks 3%	0,344
<i>Sand Equivalent</i> (%)	SNI 03-4428-1997	Min 65%	81,422

Berdasarkan **Tabel 2** hasil pengujian agregat halus (abu batu), didapatkan nilai berat jenis semu adalah 2,642gr/cm<sup>3</sup>, nilai, berat jenis SSD adalah 2,627gr/cm<sup>3</sup>, berat jenis bulk adalah 2,618gr/cm<sup>3</sup>, nilai pengujian penyerapan adalah 0,344% dan nilai pengujian *sand equivalent* adalah 81,422%. Hasil pengujian agregat menunjukkan nilai pengujian memenuhi persyaratan sehingga agregat halus (abu batu) dapat digunakan untuk pembuatan benda uji.

**Tabel 3.** Hasil Pengujian Agregat Kasar (Batu 1/1)

Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Spesifikasi	Hasil Pengujian
Berat Jenis Semu (gr/cm <sup>3</sup> )	SNI 1969 : 2016	≥ 2,5	2,608
Berat Jenis SSD (gr/cm <sup>3</sup> )	SNI 1969 : 2016	≥ 2,5	2,589
Berat Jenis Bulk (gr/cm <sup>3</sup> )	SNI 1969 : 2016	≥ 2,5	2,577
Penyerapan (%)	SNI 1969 : 2016	Maks 3%	0,467
Keausan Agregat (Abrasi) %	SNI 2417 : 2008	Maks 30%	26

Berdasarkan **Tabel 3** hasil pengujian agregat kasar (batu 1/1), didapatkan berat jenis semu adalah 2,608 gr/cm<sup>3</sup>, berat jenis SSD adalah 2,589 gr/cm<sup>3</sup>, nilai berat jenis bulk adalah 2,577 gr/cm<sup>3</sup>, nilai pengujian penyerapan adalah 0,467% dan nilai pengujian keausan agregat (abrasi) adalah 26%. Hasil pengujian agregat menunjukkan nilai pengujian memenuhi persyaratan sehingga agregat kasar (batu 1/1) dapat digunakan untuk pembuatan benda uji.

**Tabel 4.** Hasil Pengujian Agregat Kasar (Batu 1/2)

Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Spesifikasi	Hasil Pengujian
Berat Jenis Semu (gr/cm <sup>3</sup> )	SNI 1969 : 2016	≥ 2,5	2,772
Berat Jenis SSD (gr/cm <sup>3</sup> )	SNI 1969 : 2016	≥ 2,5	2,695
Berat Jenis Bulk (gr/cm <sup>3</sup> )	SNI 1969 : 2016	≥ 2,5	2,651
Penyerapan (%)	SNI 1969 : 2016	Maks 3%	1,643

Berdasarkan **Tabel 4** hasil pengujian agregat kasar (batu 1/2), didapatkan nilai berat jenis semu adalah 2,772gr/cm<sup>3</sup>, berat jenis SSD adalah 2,695gr/cm<sup>3</sup>, berat jenis *bulk* adalah 2,651gr/cm<sup>3</sup>, dan nilai pengujian penyerapan adalah 1,643%. Hasil pengujian agregat menunjukkan nilai pengujian memenuhi persyaratan sehingga agregat kasar (batu 1/2) dapat digunakan untuk pembuatan benda uji.

b. Hasil Pengujian Aspal Penetrasi 60/70

Pengujian aspal bertujuan untuk menentukan karakteristik atau sifat-sifat fisik aspal. Dapat dilihat hasil pengujian aspal pada **Tabel 5**.

**Tabel 5.** Hasil Pengujian Aspal Penetrasi 60/70

Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Spesifikasi	Hasil Pengujian
Penetrasi pada 25°C (0,1mm)	SNI 2456 : 2011	60-70	62
Viskositas	AASHTO T-72-90	-	155
Berat Jenis Aspal (gr/cc)	SNI 2441 : 2011	≥ 1,0	1,029
Titik Lembek (°C)	SNI 2434 : 2011	≥ 48	51,23
Titik Nyala (°C)	SNI 2433 : 2011	-	285
Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432 : 2011	≥ 100	132,25
Kehilangan Berat	SNI 06-2440-1991	≤ 0,8	0,751

Berdasarkan **Tabel 5**, diketahui nilai penetrasi aspal sebesar 62, nilai viskositas sebesar 155, nilai berat jenis aspal sebesar 1,029 gr/cc, nilai titik leleh sebesar 51,23°C, nilai titik nyala sebesar 285°C, nilai daktilitas adalah 132,25 cm, dan nilai kehilangan berat jenis adalah 0,751gr. Hasil pengujian aspal menunjukkan nilai pengujian memenuhi persyaratan sehingga aspal penetrasi 60/70 dapat dipakai dalam proses pembuatan benda uji.

c. Perhitungan Kadar Aspal Rencana

Diperlukan perhitungan kadar aspal rencana dalam merencanakan suatu campuran aspal, hal ini dilakukan untuk mengetahui persenan kadar aspal yang digunakan. Pada proses pembuatan benda uji, diperlukan analisis gradasi

agregat yang berjumlah 100% terdiri dari agregat halus dan agregat kasar. Nilai gradasi agregat merupakan salah satu karakteristik yang mempengaruhi kekuatan dari perkerasan [9]. Dapat dilihat hasil gradasi agregat pada **Tabel 6**.

**Tabel 6.** Analisis Gradasi Agregat Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2

Nomor Saringan	Jenis Material					Proporsi Campuran				GRADASI GABUNGAN	SPESIFIKASI
	Batu 1/1	Batu 1/2	Pasir	Abu	Batu 1/1	Batu 1/2	Pasir	Abu			
Inc. mm.	% lolos	% lolos	% lolos	% lolos	18.0%	28.0%	12.0%	42.0%	100.0%		
1	25.0	100.00	100.00	100.00	100.00	18.0	28.0	12.0	42.0	100.0	100
3/4	19.0	100.00	100.00	100.00	100.00	18.0	28.0	12.0	42.0	100.0	100
1/2	12.5	60.78	96.21	100.00	100.00	10.9	26.9	12.0	42.0	91.9	90 - 100
3/8	9.5	32.90	85.53	100.00	91.27	5.9	23.9	12.0	38.3	80.2	77 - 90
# 4	4.75	10.48	42.19	100.00	66.65	1.9	11.8	12.0	28.0	53.7	53 - 69
# 8	2.36	3.63	17.60	100.00	47.95	0.7	4.9	12.0	20.1	37.7	33 - 53
# 16	1.2	3.63	12.63	99.99	33.17	0.7	3.5	12.0	13.9	30.1	21 - 40
# 30	0.600	3.63	11.12	85.32	24.25	0.7	3.1	10.2	10.2	24.2	14 - 30
# 50	0.300	3.63	9.80	5.96	15.16	0.7	2.7	0.7	6.4	10.5	9 - 22
# 100	0.150	3.63	9.80	1.76	8.77	0.7	2.7	0.2	3.7	7.3	6 - 15
# 200	0.075	3.63	9.80	0.16	4.21	0.7	2.7	0.0	1.8	5.2	4 - 9

Berikut adalah perhitungan penentuan kadar aspal rencana:

$$\% \text{Agregat kasar} = (100 - 53,7) \% = 46,3\%$$

$$\% \text{Agregat Halus} = (53,7 - 5,2) \% = 48,5\%$$

$$\text{Filler} = 5,2\% (\text{lolos saringan No. 200})$$

Dari nilai persentase campuran didapatkan:

$$P = 0,035 (\% \text{ AK}) + 0,045 (\% \text{ AH}) + K (\% \text{ BP}) + C \text{ PB}$$

$$P = 0,035 (46,3) + 0,045 (48,5) + 0,18 (5,2) + 1 = 5,74\% \approx 6 \%$$

Berdasarkan analisis perhitungan perencanaan campuran aspal AC-WC diketahui nilai kadar aspal awal rencana adalah 6%. Selanjutnya kadar aspal divariasikan dalam 5 variasi untuk menentukan kadar aspal yang optimum.

**Tabel 7.** Nilai Kadar Aspal Rencana

P-1	P-0,5	P	P+0,5	P+1
5,0%	5,5%	6,0%	6,5%	7,0%

#### d. Pengujian Marshall

Setelah mendapatkan nilai kadar aspal rencana, sampel uji disiapkan untuk pengujian marshall guna memperoleh nilai kadar aspal optimum (KAO). Jumlah sampel pada campuran aspal penetrasi 60/70 terdapat 5 kadar persenan aspal yaitu (5%, 5,5%, 6%, 6,5% dan 7%) dengan 5 variasi kadar persenan karet alam yaitu (1%, 2%, 3%, 4%, 5%) dan masing-masing dibuat 3 sampel, sehingga secara total terdapat 75 sampel.

**Tabel 8.** Hasil Pengujian Marshall pada Campuran Aspal Penetrasi 60/70 dengan Karet Alam

Kadar Karet (%)	Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	Density (gr/cc)	MQ (kg/mm)	VFB (%)	VMA (%)	VIM (%)
1	5	750,92	2,72	2,31	287,47	70,00	16,08	5,67
	5,5	732,44	3,33	2,29	219,32	71,28	17,19	5,74
	6	931,11	3,53	2,33	263,87	83,67	16,36	3,61
	6,5	739,45	2,83	2,31	270,34	83,39	17,53	3,76
	7	1057,73	3,00	2,30	351,53	86,58	18,09	3,22
2	5	811,25	2,90	2,31	282,74	70,07	16,05	5,64
	5,5	803,83	3,40	2,33	237,51	78,05	15,93	4,32
	6	749,53	2,63	2,32	296,24	81,89	16,54	3,82
	6,5	741,95	3,07	2,33	238,64	87,52	16,81	2,93
	7	894,10	3,73	2,31	233,13	88,19	17,82	2,90
3	5	949,54	2,43	2,24	391,66	58,20	18,71	8,63
	5,5	813,51	3,07	2,28	265,39	68,55	17,75	6,39
	6	1068,13	3,00	2,30	360,01	77,87	17,25	4,64

	6,5	857,59	3,13	2,32	275,73	85,38	17,17	3,35
	7	985,22	3,23	2,32	333,96	90,28	17,52	2,54
	5	924,15	3,03	2,29	307,02	65,54	16,95	6,65
	5,5	1203,43	2,73	2,31	460,63	75,18	16,47	4,93
4	6	1161,17	2,83	2,34	411,01	85,08	16,01	3,21
	6,5	1073,08	2,93	2,31	392,48	82,98	17,58	3,82
	7	988,93	4,50	2,34	220,88	94,32	16,89	1,80
	5	430,77	3,05	2,30	140,96	67,28	16,59	6,24
	5,5	430,77	2,90	2,30	260,18	73,08	16,85	5,36
5	6	430,77	3,03	2,29	236,45	76,79	17,54	4,96
	6,5	430,77	3,07	2,31	179,47	84,22	17,37	3,58
	7	430,77	3,73	2,30	170,35	86,06	18,19	3,33

Dalam campuran perkerasan, untuk menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO) dilakukan melalui analisis volumetrik yaitu nilai VMA, VIM, VFB, serta pemeriksaan mekanis berupa stabilitas, *flow*, *density* dan *marshall quotient* [10]. Berdasarkan **Tabel 8**, hasil perbandingan seluruh parameter didapatkan variasi terbaik dengan nilai tertinggi dan terbanyak memenuhi parameter marshall sebagai kadar aspal optimum. Variasi campuran aspal karet alam dengan nilai tertinggi dan memenuhi 3 parameter marshall berupa *Flow* dengan nilai 2,83 mm, VIM dengan nilai 3,21% dan *Density* dengan nilai 2,34 gr/cc adalah campuran aspal karet alam dengan kadar karet 4% dan aspal penetrasi 60/70 dengan kadar 6%. Sehingga, kadar aspal

optimum (KAO) pada campuran aspal karet alam adalah kadar karet 4% dan aspal pen etrasi 60/70 6%.

e. Perbandingan Hasil Pengujian Marshall pada Variasi KAO

Berdasarkan **Tabel 9**, diketahui terdapat sedikit perbedaan nilai pada hasil analisis dan penelitian terdahulu. Perbedaan nilai ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor seperti kualitas bahan yang digunakan, sumber bahan, dan umur alat pengujian. Namun, perbedaan tersebut tidak berpengaruh secara signifikan, sehingga hasil dari penelitian terdahulu dapat dijadikan sebagai dasar acuan penelitian.

**Tabel 9.** Perbandingan Nilai Parameter *Marshall Test* pada Variasi KAO dan Penelitian terdahulu

Variasi	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	VIM (%)	VMA (%)	VFB (%)	MQ (kg/mm)	Density (gr/cc)
Karet Alam (4%) + Pen 60/70 (6%) (Hasil Analisis, 2024)	863,39	2,97	4,95	17,53	76,32	295,07	2,29
Karet Alam (5%) + Pen 60/70 (6,5%) (Mahmuda, 2022)	1658,03	3,53	3,51	15,09	-	469,56	-
Karet Alam (2%) + Pen 60/70 (4%) (Trisilvana, 2019)	616,39	3	2,15	-	-	212,8	-
Pen 60/70 (6,4%) (Hasil Analisis, 2024)	1031,43	2,70	5,28	18,62	75,93	382,16	2,27
Pen 60/70 (6,25%) (Lebang, 2021)	1637	3,60	4,73	16,66	71,63	492	-
Pen 60/70 (6,4%) (Evan, 2023)	903,60	3	4,52	17,14	83,1	301,84	-
Karet Pravulkanisasi (12%) + Pen 60/70 (5,2%) (Hasil Analisis, 2024)	1333,74	2,60	5,39	16,25	71,99	518,28	2,31
Karet Pravulkanisasi (12%) + Pen 60/70 (5,2%) (Mahmuda, 2024)	2461,3	3,68	4,75	15,1	69,23	787,6	-
Elastobond (40:60) + Pen 60/70 (6%) (Hasil Analisis, 2024)	1537,33	3,10	4,65	18,39	79,22	504,01	2,28
Elastobond (40:60) + Pen 60/70 (6%) (Evan, 2023)	936,8	3,1	3,72	16,63	87,71	302,480	-

f. Perbandingan Efisiensi Variasi Campuran Aspal

Perbandingan efisiensi berdasarkan faktor biaya bahan, ketersediaan bahan dan kekuatan hasil pencampuran pada variasi campuran aspal dengan Karet Alam, Karet

Pravulkanisasi dan Karet Buatan. Berikut adalah perbandingan efisiensi variasi campuran:

1. Biaya Bahan

Biaya bahan Karet Alam memiliki harga Rp 35.000/liter, Karet Buatan (Elastobond) Rp. 56.000/liter dan Karet Pravulkanisasi (Vulutex) Rp. 150.000/liter. Berdasarkan faktor biaya masing-masing bahan didapat bahan paling ekonomis yaitu biaya bahan Karet Alam.

## 2. Ketersediaan Bahan

Di Indonesia produksi karet alam pertahun berkisaran antara 3,12 juta ton hingga 3,2 jutan ton. Karet pravulkanisasi pertahunnya diproduksi sebanyak 450 ton yang dimana hanya terdapat di wilayah tertentu dan Karet Buatan (Elastobond) diproduksi sebanyak 750 ton hingga 1.092 ton pertahunnya yang terdapat diwilayah tertentu. Berdasarkan faktor ketersediaan bahan diperoleh bahan yang paling mudah didapat dan dijumpai adalah Karet Alam.

## 3. Kekuatan Hasil Pencampuran

Kekuatan hasil pencampuran didasari pada nilai Marshall Quotient (MQ) yang di dapat dari hasil pengujian marshall. Nilai MQ hasil pencampuran aspal penetrasi 60/70 dan Karet Alam sebesar 295,07 kg/mm. Nilai MQ hasil pencampuran aspal penetrasi 60/70 dan Karet Pravulkanisasi sebesar 518,28 kg/mm. Nilai MQ hasil pencampuran aspal penetrasi 60/70 dan Karet Buatan sebesar 504,01 kg/mm. Berdasarkan faktor kekuatan hasil pencampuran semua variasi campuran memenuhi standar kekuatan dengan nilai kekuatan tertinggi diperoleh hasil pencampuran aspal penetrasi 60/70 dan Karet Pravulkanisasi.

## 4. Simpulan

Berdasarkan hasil dan analisis pengujian marshall terhadap campuran aspal dengan penambahan aspal karet buatan, karet alam dan karet pravulkanisasi dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil perbandingan seluruh parameter didapatkan variasi nilai tertinggi dan terbanyak pada 3 parameter yaitu nilai Flow sebesar 2,83mm, nilai VIM sebesar 3,21% dan nilai Density sebesar 2,34gr/cc sebagai Kadar Aspal Optimum (KAO) untuk campuran aspal karet alam dengan kadar 4% dan aspal penetrasi 60/70 dengan kadar 6%.
2. Hasil perbandingan seluruh parameter *Marshall Test* pada variasi KAO campuran Karet Alam, Karet Pravulkanisasi dan Karet Buatan serta Aspal tanpa karet diperoleh variasi terbaik dengan nilai tertinggi dan terbanyak pada 5 parameter yaitu nilai Flow sebesar 2,6 mm, nilai VMA sebesar 16,25 %, nilai VFB sebesar 71,99, nilai MQ sebesar 518,28 kg/mm dan nilai Density sebesar 2,31 gr/cc sebagai Kadar Aspal

Optimum (KAO) untuk campuran aspal karet pravulkanisasi kadar 12% dan aspal penetrasi 60/70 kadar 5,2%.

3. Efisiensi variasi campuran aspal diketahui bahwa karet alam memiliki ketersediaan bahan yang mudah dijumpai dan harganya yang paling ekonomis. Dari segi kekuatan karet alam bukan bahan dengan nilai kekuatan tertinggi, tetapi nilai kekuatan karet alam memenuhi dari nilai standar acuan. Maka dari itu dapat disimpulkan bahwa bahan karet alam adalah yang paling efisien.

## Daftar Pustaka

- [1] N. Suaryana and T. S. Sofyan, "Performance Evaluation of Hot Mixture Asphalt Using Concentrated Rubber Latex, Rubber Compound and Synthetic Polymer as Modifier," *Civ. Eng. Dimens.*, vol. 21, no. 1, pp. 36–42, 2019, doi: 10.9744/ced.21.1.36-42.
- [2] B. W. Widiyanto and M. I. Faishal, "Perubahan Karakteristik Aspal Pen 60/70 dengan Substitusi Getah Karet Alam Pangkalan Balai, Sumatera Selatan," *RekaRacana J. Tek. Sipil*, vol. 6, no. 3, p. 143, 2021, doi: 10.26760/rekaracana.v6i3.143.
- [3] Kurniadji, "Pengembangan Aspal Karet Dalam Meningkatkan Mutu Campuran Perkerasan Jalan," *Dep. Pekerj. Umum*, p. 89, 1999.
- [4] A. T. Setyoko and R. Lukiawan, "Pengembangan Standardisasi Karet Alam Sebagai Bahan Baku Aspal Karet Dan Produk Aspal Karet Development of Natural Rubber Standardization for Rubber Raw Material and Asphalt," no. September 2016, 2019.
- [5] Kemendag, "Tren surplus neraca perdagangan berlanjut, surplus neraca perdagangan non migas bulan juli 2022 meningkat," *War. Daglu*, 2022.
- [6] P. Aspal, S. Dan, A. Elastobond, E. Komala, and E. Tri, "Melalui Sistem Pengujian Marshall Pada Campuran Laston Ac-Wc ( Asphalt Concrete-Wearing Course )," *Tek. Sipil Fak. Tek. Univ. Tanjungpura Pontianak*, pp. 1–13, 2018.
- [7] M. Mahmuda, D. Y. Wiranata, S. Sumiati, D. A. Agustina, and A. R. Insyra, *Evaluating Marshall Characterization of rubber-modified asphalt used for asphalt concrete - wearing course (AC-WC)*. Atlantis Press International BV, 2024. doi: 10.2991/978-94-6463-386-3\_55.
- [8] D. Jenderal and B. Marga, "Spesifikasi umum 2018," no. Revisi 2, 2020.
- [9] S. Indira., Marpaung, Alvin., Setiadji.B.H., "Evaluasi

- Gradasi Agregat Pada Campuran AC-WC,” *J. Karya Tek. Sipil*, vol. 6, no. 2, pp. 1–11, 2017.
- [10] D. Widianty, R. Yuniarti, A. Akmaluddin, A. Prabowo, and S. Rawiana, “Analisis Karakteristik Marshall pada Beton Aspal Lapis Pengikat (Asphalt Concrete-Binder Course) menggunakan Aspal Modifikasi Serbuk Serat Pelelah Batang Pisang,” *J. Sains Teknol. Lingkung.*, vol. 6, no. 1, pp. 85–95, 2020, doi: 10.29303/jstl.v6i1.119.

**Halaman ini sengaja dikosongkan**