

PENGARUH GETAH KARET SEBAGAI SUBSTITUSI ASPAL TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL PADA CAMPURAN ASPHALT CONCRETE-WEARING COURSE

Muhammad Hasan Farisqi¹, Agus Sugiarto², Aulia Rahman³

Mahasiswa Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang¹, Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang², Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang³

Email: hasanfarisqi.182@gmail.com¹; agus.sugiarto@polinema.ac.id²; aulia.rahman@polinema.ac.id

ABSTRAK

Getah karet adalah bahan alami yang kaya akan polimer *cis-1,4-polyisoprene*, memberikan sifat elastisitas, fleksibilitas, dan ketahanan terhadap deformasi. Dalam konstruksi jalan, getah karet memiliki potensi besar sebagai bahan substitusi aspal, terutama pada lapisan aus (*Asphalt Concrete-Wearing Course/AC-WC*), yang merupakan lapisan perkerasan teratas. Lapisan ini dirancang untuk menahan beban lalu lintas langsung, melindungi lapisan bawah dari kerusakan akibat air dan oksidasi, serta memberikan permukaan yang aman dan nyaman untuk berkendara. Penelitian ini mengevaluasi pengaruh substitusi getah karet terhadap parameter Marshall pada campuran AC-WC dengan variasi kadar 0%, 3,5%, 6%, 8,5%, dan 11%. Pengujian dilakukan menggunakan metode Marshall untuk mengevaluasi *stabilitas*, *flow*, *Void in Mineral Aggregate (VMA)*, *Void in Mix (VIM)*, *Void Filled with Asphalt (VFA)*, dan *Marshall Quotient (MQ)*. Berdasarkan hasil pengujian campuran AC-WC tanpa substitusi getah karet ditemukan Kadar Aspal Terpilih (KAT) sebesar 6 %. Substitusi optimum campuran AC-WC dengan variasi getah karet ditemukan pada kadar getah karet 8,5%, meningkatkan stabilitas, kekuatan, dan kepadatan terhadap campuran aspal AC-WC. Analisis statistik menggunakan ANOVA menunjukkan adanya pengaruh signifikan dari variasi substitusi getah karet terhadap parameter stabilitas, flow, VMA, VIM, VFA, dan MQ. Penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan material perkerasan jalan yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan

Kata Kunci: getah karet, aspal, laston AC-WC, Karakteristik Marshall, ANOVA.

ABSTRACT

Rubber latex is a natural material rich in *cis-1,4-polyisoprene* polymer, providing properties of elasticity, flexibility, and resistance to deformation. In road construction, rubber latex has great potential as an asphalt substitution material, especially in the asphalt concrete-wearing course (AC-WC), which is the top layer of pavement. It is designed to withstand direct traffic loads, protect the lower layers from water damage and oxidation, and provide a safe and comfortable driving surface. This research evaluates the effect of rubber gum substitution on the Marshall parameters of AC-WC mixtures with varying levels of 0%, 3.5%, 6%, and 8.5%. Tests were conducted using the Marshall method to evaluate stability, flow, Void in Mineral Aggregate (VMA), Void in Mix (VIM), Void Filled with Asphalt (VFA), and Marshall Quotient (MQ). Based on the test results of AC-WC mixture without rubber gum substitution, it was found that the selected asphalt content (KAT) was 6%. Optimum substitution of AC-WC mixture with rubber gum variation was found at 8.5% rubber gum content, increasing stability, strength, and density of AC-WC asphalt mixture. Statistical analysis using ANOVA showed a significant effect of rubber gum substitution variations on stability, flow, VMA, VIM, VFA, and MQ parameters. This research contributes to the development of more environmentally friendly and sustainable pavement materials.

Keywords: rubber lateks, asphalt, laston AC-WC, Marshall Characteristics, ANOVA.

1. PENDAHULUAN

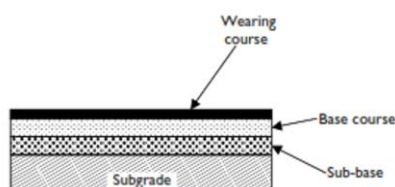
Peningkatan kualitas infrastruktur jalan sangat penting untuk mendukung pertumbuhan ekonomi dan mobilitas masyarakat. Kebutuhan material berkualitas tinggi dan ramah lingkungan menjadi perhatian utama dalam industri jalan raya. Namun, aspal sebagai material utama pada perkerasan lentur memiliki keterbatasan, seperti rentan terhadap retakan dan deformasi plastis (rutting) [1]. Hal ini mendorong pencarian alternatif material yang lebih baik dan berkelanjutan.

Indonesia, sebagai salah satu produsen karet alam terbesar dengan produksi 2,04 juta ton pada 2023 [2], memiliki potensi besar dalam memanfaatkan getah karet (lateks) yang elastis, fleksibel, dan tahan deformasi sebagai substitusi aspal [3]. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penambahan getah karet dapat meningkatkan stabilitas Marshall dan kekuatan aspal, meskipun kadar yang terlalu tinggi dapat menurunkan stabilitas [4][5].

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh substitusi getah karet pada campuran Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) terhadap parameter Marshall, seperti stabilitas, flow, Void in Mineral Aggregate (VMA), Void in Mix (VIM), Void Filled with Asphalt (VFA), dan Marshall Quotient (MQ). Variasi kadar getah karet yang dikaji adalah 0%, 3,5%, 6%, 8,5%, dan 11%. Penelitian ini juga menggunakan analisis statistik ANOVA untuk mengetahui pengaruh substitusi tersebut, dengan harapan dapat mendukung pengembangan material jalan yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Lapis Aspal Beton (Laston)

Laston adalah campuran aspal dan agregat, di mana aspal berfungsi sebagai perekat dan agregat sebagai tulangan [6]. Lapisan aspal beton (AC) terdiri dari tiga jenis: Laston Lapis Aus (AC-WC), Laston Lapis Pengikat (AC-BC), dan Laston Lapis Pondasi (AC-Base) dengan ukuran maksimum agregat masing-masing 19 mm, 25,4 mm, dan 37,5 mm (Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018) [7].



Gambar 1. Struktur Lapis Aspal Beton

Pengujian Marshall

Metode Marshall, ditemukan oleh Bruce Marshall, digunakan untuk mengevaluasi kualitas campuran aspal. Prinsip dari metode marshall yaitu dengan melakukan

pemeriksaan analisis rongga dalam campuran aspal maupun agregat, flow, dan stabilitas dari campuran yang diuji.

2. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan pendekatan laboratorium untuk mengkaji pengaruh substitusi getah karet pada parameter Marshall di campuran Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC). Tahapan meliputi persiapan material, pembuatan campuran, uji Marshall, dan analisis data statistik.

Persiapan Material

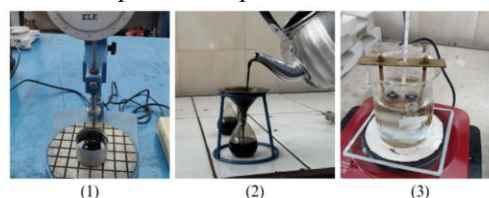
Pengujian awal dilakukan untuk memastikan material memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 [7]. Material utama yang digunakan meliputi agregat kasar didapatkan dari Pasuruan, agregat halus didapatkan dari lumajang, filler berupa semen, aspal penetrasi 60/70 didapat dari PT Pertamina-Bitumen Plant Gresik dan getah karet (lateks) cair dengan kandungan amonia, diperoleh dari kebun Pancursari, Kabupaten Malang.

Pengujian Sifat Fisik Material

Pengujian sifat fisik bahan bertujuan agar seluruh material yang digunakan memenuhi Bina Marga 2018 [7] agar benda uji memiliki hasil yang optimum. Pengujian ini dilakukan pada setiap material yang meliputi:

- a. Aspal (Penetrasi, Berat Jenis, Titik Lembek)

Pengujian sifat fisik aspal meliputi: gambar (1) uji penetrasi, gambar (2) uji berat jenis, dan gambar (3) uji titik lembek. Ketiga pengujian ini memastikan kualitas aspal sesuai spesifikasi teknis.



Gambar 2. Pengujian sifat fisik aspal

- b. Agregat Halus (Berat Jenis, Kadar Organik,)

Pengujian sifat fisik agregat halus meliputi: gambar (1) uji berat jenis dan gambar (2) uji organik.



Gambar 3. Pengujian sifat fisik Agregat Halus

- c. Agregat Kasar (Berat Jenis, Kekerasan, Keausan)

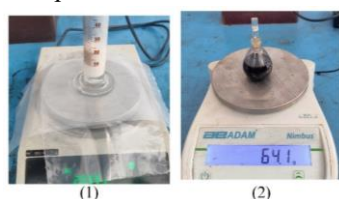
Pengujian sifat fisik agregat kasar meliputi: gambar (1) uji berat jenis, gambar (2) uji kekerasan, dan gambar (3) uji keausan.



Gambar 4. Pengujian sifat fisik Agregat Kasar

d. Pengujian Getah Karet (Berat Jenis)

Pengujian sifat getah karet meliputi: gambar (1) berat jenis getah karet, gambar (2) uji berat jenis getah karet ditambah aspal.



Gambar 5. Pengujian Getah Karet

Pembuatan Benda Uji

Terdapat dua pembuatan benda uji normal meliputi benda uji KAT dan benda uji dengan substitusi Getah karet. Untuk benda uji KAT dibuat menggunakan 5 variasi dengan pengulangan 3. Benda uji untuk tiap variasi antara lain: Pb, (Pb -0,5), (Pb -1,0), (Pb), (Pb + 0,5), dan (Pb + 1,0) dengan persamaan sebagai berikut:

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

Dengan :

Pb = Kadar aspal rencana awal terhadap berat campuran

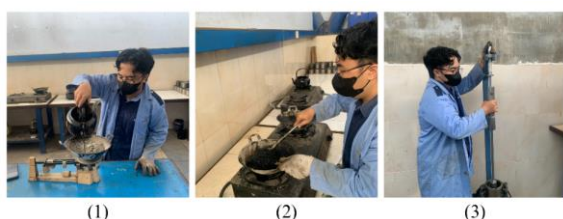
CA=Agregat kasar tertahan no 8

FA=Agregat halus lolos saringan No.8 dan tertahan No.200

FF = Bahan pengisi

K = Konstanta, berkisar 0,5 –1,0

Dari hasil pengujian marshall variasi Pb didapat nilai 6,0% sebagai kadar aspal terpilih (KAT). Berikut gambar proses pembuatan benda uji normal meliputi: gambar (1) proses penimbangan campuran aspal, gambar (2) proses pencampuran, dan gambar (3) proses penumbukan.



Gambar 6. Proses Pembuatan Benda Uji

Desain Campuran Aspal

Setelah nilai KAT diperoleh, dilakukan pembuatan benda uji dengan substitusi getah karet sebesar 3,5%, 6%, 8,5%, dan 11%, masing-masing dengan 3 pengulangan. Setiap variasi diuji untuk menentukan nilai volumetrik dan karakteristik campuran, mengacu pada spesifikasi Bina Marga 2018 [1], [7].

Analisis Data

Hasil pengujian dianalisis menggunakan statistik deskriptif untuk menggambarkan karakteristik campuran aspal, serta analisis variansi (ANOVA) untuk mengetahui pengaruh signifikan variasi kadar getah karet terhadap parameter Marshall [8].

Pengujian Marshall

Pengujian Marshall menggunakan alat digital untuk mengukur stabilitas, flow, dan Marshall Quotient (MQ). Benda uji diukur secara volumetrik (tebal, diameter, berat kering, SSD, dan berat di air), kemudian direndam pada suhu 60°C selama 30 menit sebelum diuji. Pengujian dilakukan sesuai spesifikasi Bina Marga 2018 [5]. Berikut merupakan ketentuan untuk campuran laston AC-WC berdasarkan spesifikasi bina marga tahun 2018.

Tabel 1. Ketentuan Sifat Campuran Laston AC-WC

Sifat-Sifat Campuran	Campuran Laston		
	AC-WC	AC-BC	AC-Base
Jumlah tumbukan	75		112
Rongga dalam campuran /VIM (%)	3,0-5,0		
Rongga dalam agregat /VMA (%)	Min.15	Min.14	Min.13
Rongga terisi aspal /VFB (%)	Min.65	Min.65	Min.65
Stabilitas Marshall (kg)	Min. 800		Min. 1800
Flow (mm)	2,0 - 4,0		3,0 - 6,0
Marshall Quotient (kg/mm)	Min. 250		

Sedangkan berikut merupakan ketentuan untuk campuran laston AC-WC (mod)

Tabel 2. Ketentuan Sifat Campuran Laston AC-WC Mod

Sifat-Sifat Campuran	Campuran Laston		
	AC-WC	AC-BC	AC-Base
Jumlah tumbukan	75		112
Rongga dalam campuran /VIM (%)	3,0-5,0		
Rongga dalam agregat /VMA (%)	Min.15	Min.14	Min.13
Rongga terisi aspal /VFB (%)	Min.65	Min.65	Min.65
Stabilitas Marshall (kg)	Min. 1000		Min. 1800
Flow (mm)	2,0 - 4,0		3,0 - 6,0
Marshall Quotient (kg/mm)	Min. 250		

Penentuan Kadar Substitusi Optimal

Kadar substitusi getah karet optimal ditentukan berdasarkan hasil pengujian dengan mempertimbangkan kinerja terbaik pada stabilitas, flow, VMA, VIM, VFA, dan MQ. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa kadar optimal berada pada rentang 3%-9% [9]. Substitusi ini diharapkan dapat meningkatkan kinerja tanpa mengorbankan aspek ekonomi [10].

Analisis ANOVA

Analisis data dilakukan menggunakan ANOVA satu arah untuk menentukan pengaruh signifikan variasi kadar getah karet terhadap parameter Marshall. Metode ini dipilih karena dapat memberikan hasil statistik yang signifikan untuk data dengan variasi parameter [8].

3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Bagian ini mencakup analisis sifat fisik material, kebutuhan material, pembuatan sampel, perhitungan volumetrik, pengujian karakteristik Marshall, dan analisis statistik menggunakan ANOVA.

Hasil Pengujian Sifat Fisik Agregat Kasar

Dalam penelitian ini, agregat kasar diperoleh dari Pasuruan. Data hasil pengujian agregat kasar sebagai berikut:

Tabel 3. Hasil Pengujian Sifat Fisik Agregat Kasar

Pengujian	Hasil Pengujian	Persyaratan		Metode Pengujian
		Min	Max	
Berat Jenis				
- Bulk	2,649	2,5	-	
- Apparent	2,803	2,5	-	
- JPK/SSD	2,704	2,5	-	SNI 1969-2016
- Efektif	2,726	-	-	
- Penyerapan	2,095	-	3%	
Kekerasan	3,981	-	-	SNI 7619-2012
Keausan	16,16	-	40%	SNI 2417-2008

Hasil Pengujian Sifat Fisik Agregat Halus

Dalam penelitian ini, agregat halus diperoleh dari Lumajang. Data hasil pengujian agregat sebagai berikut:

Tabel 4. Hasil Pengujian Sifat Fisik Agregat Halus

Pengujian	Hasil Pengujian	Persyaratan		Metode Pengujian
		Min	Max	
Berat Jenis				
-Bulk	2,706	2,5	-	
-Apparent	2,769	2,5	-	
-JPK/SSD	2,729	2,5	-	SNI 1969:2016
-Efektif	2,737	-	-	
Penyerapan	0,847	-	3%	
Kadar Organk	1	1	3	SNI 03-2816-2014

Hasil Pengujian Sifat Fisik Aspal

Aspal yang digunakan adalah aspal penetrasi 60/70. Hasil pengujian sifat fisik aspal disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Pengujian Sifat Fisik Aspal

Pengujian	Hasil Pengujian	Persyaratan		Metode Pengujian
		Min	Max	
Penetrasi, 25°C	62.688	60	70	SNI 2456-2011
Titik Lembek, °C	48	48°C	58°C	SNI 2434:2011
Berat Jenis	1.030	1,0	-	SNI 2441:2011

Kebutuhan Bahan Penyusun Laston AC-WC

Berdasarkan komposisi agregat kasar, agregat halus, filler dan variasi kadar aspal, maka dibuat benda uji normal dengan setiap variasi kadar aspal dibuat 3 benda uji. Variasi kadar aspal diantaranya 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7%. Variasi kadar aspal ini yang akan digunakan untuk pembuatan sampel uji dalam menentukan Kadar Aspal Terpili (KAT)

Tabel 6. Kebutuhan Bahan Penyusun Laston AC-WC

Material	Variasi Kadar Aspal (%)				
	5	5.5	6	6.5	7
Aggregat Kasar	429	429	429	429	429
Aggregat Halus	599.5	599.5	599.5	599.5	599.5
Filler	71.5	71.5	71.5	71.5	71.5
Total	1100	1100	1100	1100	1100
Aspal	54.9	60.4	65.9	71.4	76.9
Total + Aspal	1154.9	1160.4	1165.9	1171.4	1176.9

Hasil Pengujian Marshall Benda Uji KAO

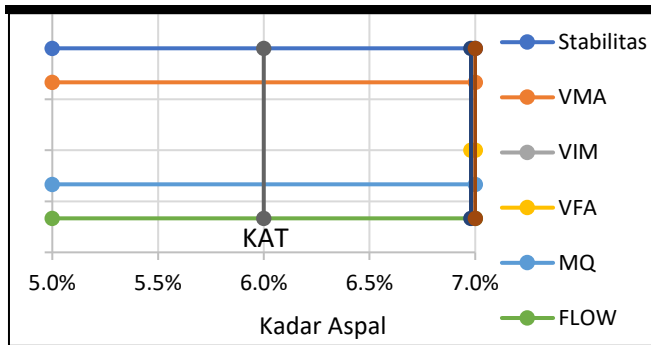
Rekapitulasi hasil uji Marshall di dalam campuran normal dengan kadar aspal 5% hingga 7% terhadap karakteristik marshall dapat dilihat di dalam Tabel 7.

Tabel 7. Rekapitulasi Hasil Uji Marshall

Karakteristik	Kadar Aspal				
	5,0%	5,5%	6,0%	6,5%	7,0%
Stabilitas (kg)	1282	1410	1345	1326	1192
Flow (mm)	2,59	2,68	3,09	3,23	3,35
MQ (kg/mm)	490,11	566,54	464,13	418,41	382,67
VMA (%)	14,12	14,21	14,43	14,77	15,14
VIM (%)	2,83	1,81	0,93	0,20	-0,48
VFA (%)	81,32	87,41	93,59	98,70	103,97

Penentuan Kadar Aspal Terpilih

Untuk penentuan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) ditentukan dengan diambil kadar aspal yang paling ideal dari batas kadar aspal 5% sampai kadar aspal 7%, sehingga didapat KAT pada kadar 6%. Dapat dilihat pada Gambar 7. diagram untuk menentukan kadar aspal terpilih.



Gambar 7. Penentuan Kadar Aspal Terpilih

Hasil Pengujian Marshall Benda Uji Substitusi Aspal Getah karet

Hasil pengujian Marshall variasi getah karet dengan kadar aspal 6% dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 8. Rekapitulasi Hasil Uji Marshall Benda Uji Variasi

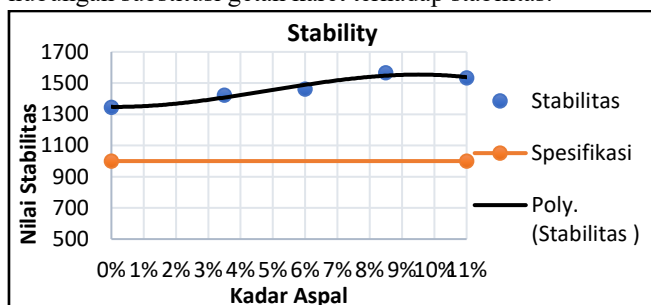
Karakteristik	Kadar Aspal				
	0,0%	3,5%	6,0%	8,5%	11,0%
Stabilitas (kg)	1345,2	1422,5	1462,5	1566,1	1532,7
Flow (mm)	3,09	2,58	2,58	2,09	2,19
MQ (kg/mm)	464,13	463,53	463,53	636,16	578,45
VMA (%)	14,43	16,88	16,88	16,41	16,57
VIM (%)	0,93	3,77	3,77	3,22	3,41
VFA (%)	93,59	77,99	77,99	81,07	79,52

Berikut gambar proses pengujian menggunakan alat Marshall.



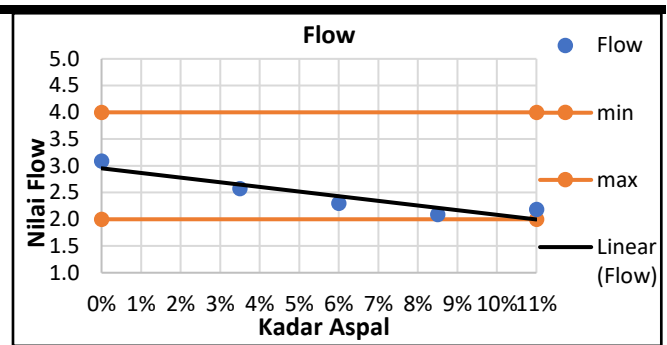
Gambar 8. Proses Pengujian Marshall

Hasil pengujian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik yang menunjukkan hubungan antara kadar getah karet substitusi dengan karakteristik Marshall. Berikut grafik hubungan substitusi getah karet terhadap stabilitas:



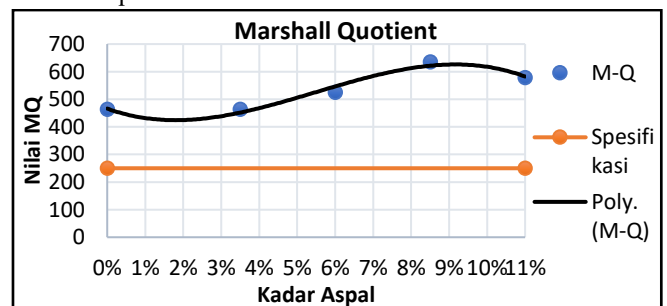
Gambar 9. Grafik Hubungan Kadar Getah karet terhadap Stabilitas

Berikut grafik hubungan substitusi getah karet dengan flow



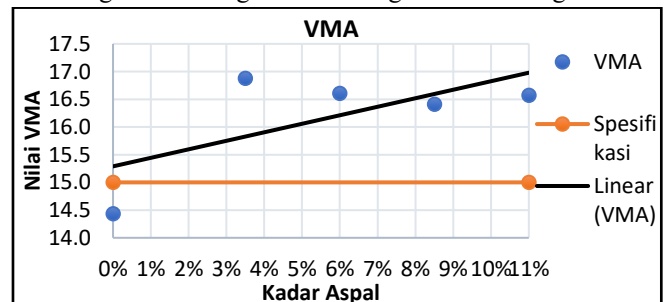
Gambar 10. Grafik Hubungan Kadar Getah karet dengan Flow

Berikut grafik hubungan substitusi getah karet dengan marshall quotient



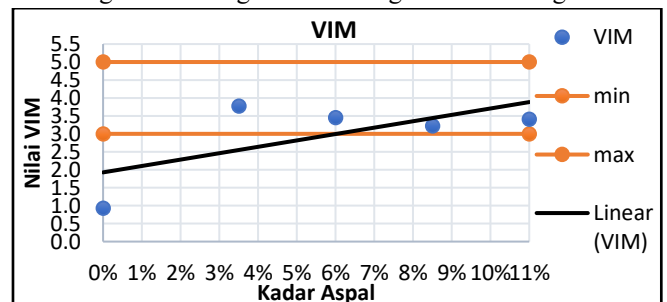
Gambar 11. Grafik Hubungan Kadar Getah karet terhadap MQ

Berikut grafik hubungan substitusi getah karet dengan VMA



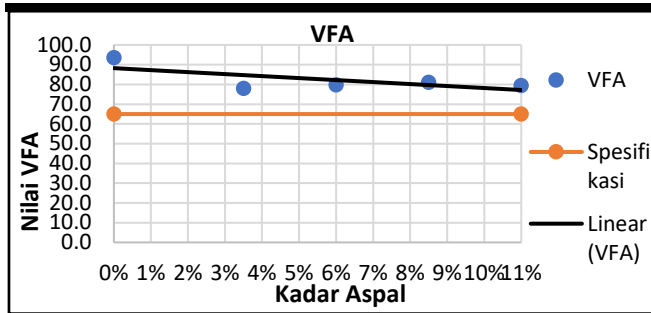
Gambar 12. Grafik Hubungan Kadar Getah karet terhadap VMA

Berikut grafik hubungan substitusi getah karet dengan VIM



Gambar 13. Grafik Hubungan Kadar Getah karet terhadap VIM

Berikut grafik hubungan substitusi getah karet dengan VFA



Gambar 14. Grafik Hubungan Kadar Getah karet terhadap VFA

Hasil pengujian menunjukkan kadar getah karet optimum pada 8,5%. Substitusi getah karet pada aspal menghasilkan campuran dengan keseimbangan terbaik antara stabilitas, fleksibilitas, dan durabilitas.

Hasil Uji Anova

Pengujian ANOVA menunjukkan bahwa substitusi getah karet berpengaruh signifikan terhadap nilai stabilitas, flow, dan MQ, tetapi tidak berpengaruh pada VMA, VIM, dan VFA. Hasil rinci disajikan dalam tabel ANOVA.

Tabel 9. Rekapitulasi Hasil Analisis ANOVA

Karakteristik	Hasil Perhitungan		Keterangan
	F	F-Crit	
Stabilitas (kg)	1,893	3,478	Tidak Berpengaruh
Flow (mm)	1,893	3,478	Tidak Berpengaruh
MQ (kg/mm)	2,104	3,478	Tidak Berpengaruh
VMA (%)	3,672	3,478	Berpengaruh
VIM (%)	6,255	3,478	Berpengaruh
VFA (%)	3,638	3,478	Berpengaruh

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian, analisis data, dan pembahasan, disimpulkan bahwa:

- 1) Kadar Aspal Terpilih (KAT) campuran AC-WC adalah 6%, dengan sebagian besar parameter memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018, kecuali VIM.
- 2) Penambahan getah karet meningkatkan stabilitas dari 1345 kg (0%) menjadi 1582,8 kg (8,5%), dengan nilai flow tetap memenuhi spesifikasi dengan peningkatan pada VFA dan Marshall Quotient menunjukkan campuran lebih tahan beban lalu lintas.
- 3) Substitusi optimal adalah 8,5%, menghasilkan stabilitas 1566,1 kg dan Marshall Quotient 636,16 kg/mm, menunjukkan keseimbangan kekakuan dan fleksibilitas.
- 4) Hasil ANOVA menunjukkan substitusi getah karet signifikan meningkatkan stabilitas, flow, dan Marshall Quotient, tetapi tidak signifikan pada parameter rongga seperti VIM, VMA, dan VFA.

Saran

Berikut saran untuk penelitian lanjutan:

1. Penelitian lanjutan dengan variasi kadar getah karet dan metode pencampuran berbeda.
2. Pemilihan material dan spesifikasi perlu dilakukan dengan cermat untuk hasil yang sesuai standar.
3. Memastikan alat uji dalam kondisi baik sebelum digunakan.
4. Uji sifat fisik getah karet dengan aspal penetrasi 60/70.
5. Penggunaan masker selama pembuatan benda uji untuk melindungi kesehatan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Perdian, "Material Aspal dalam Konstruksi Jalan Raya," *Journal of Civil Engineering*, vol. 18, no. 2, pp. 25–35, 2024.
- [2] Badan Pusat Statistik, "Produksi Karet Alam Indonesia Tahun 2023," BPS Indonesia, Jakarta, 2023.
- [3] I. E. Purba, S. S. Adiansyah, and H. Dabukke, "Sifat Fisik dan Kimia Getah Karet untuk Aplikasi Konstruksi," *Indonesian Rubber Research Journal*, vol. 7, no. 1, pp. 45–53, 2023.
- [4] R. Ramadhani, J. Arliansyah, and E. Kadarsa, "The Effect of Pre-vulcanized Latex Usage on Marshall Characteristics in AC-WC Mixtures," *International Journal of Highway Engineering*, vol. 12, no. 4, pp. 211–220, 2024.
- [5] K. Lubis, N. Mahda, and I. Irwan, "Performance Evaluation of Asphalt Mixtures with Natural Latex Using Marshall Tests," *Civil Engineering Journal*, vol. 15, no. 3, pp. 123–130, 2023.
- [6] Pusjatan, Modul 1, 2, & 3 Bahan Campuran Aspal Panas. Bandung: Balai Litbang Perkerasan Jalan, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2019.
- [7] Direktorat Jenderal Bina Marga, Spesifikasi Umum 2018 Revisi 2, Jakarta, Indonesia, 2018.
- [8] J. Rendra and Mudjanarko, "Implementasi ANOVA dalam Analisis Kinerja Campuran Aspal," *Procedia Engineering*, vol. 10, no. 1, pp. 45–51, 2023.
- [9] F. Utami, B. S. Subagio, and A. Kusumawati, "Evaluation of The Performance of Hot Mix Asphalt With Natural Rubber (Latex) For Asphalt Concrete - Binder Course (AC-BC)," *Journal of Advanced Pavement Technology*, vol. 8, no. 3, pp. 112–120, 2020.
- [10] F. A. Del Piero et al., "Effect of Latex Dry Rubber Content (DRC) 30 on Marshall Parameters of Asphalt Concrete," *Journal of Applied Engineering Research*, vol. 16, no. 5, pp. 98–104, 2023.