

Analisis pengaruh serbuk ban karet terhadap sifat fisik aspal Pen 60/70 dan aspal PG 70

Giri Widhiatmoko^{1,*}, Miftahul Fauziah¹

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Sleman, Indonesia

Article Info

Available online

Keywords:

Crumb rubber powder
Physical properties
Asphalt Pen 60/70
Asphalt PG 70
Asphalt modification

Corresponding Author:

Giri Widhiatmoko
225104605@uii.ac.id

Abstract

Waste rubber tires have become a significant environmental issue in Indonesia due to the continuous increase in the number of motor vehicles. One potential solution is to utilize waste tire rubber powder as an asphalt additive to improve binder performance while reducing environmental pollution. Previous studies have primarily focused on the performance of asphalt mixtures, whereas investigations into the changes in the fundamental physical properties of asphalt binders remain limited. Therefore, this study aims to evaluate the effect of crumb rubber powder on the physical characteristics of Pen 60/70 asphalt and PG 70 asphalt. An experimental laboratory method was employed at the Highway Engineering Laboratory, Universitas Islam Indonesia. The asphalt binders were modified using crumb rubber powder passing sieve No. 16 and retained on sieve No. 30 at variation contents of 0%, 2%, 4%, and 6% by weight of asphalt. The evaluated physical properties included specific gravity, penetration, softening point, ductility, flash point, and fire point. The results indicate that the incorporation of crumb rubber significantly affects the physical properties of both asphalt binders. Penetration and ductility values decreased, indicating an increase in binder stiffness and a reduction in its elongation capacity. Conversely, the softening point increased, demonstrating improved resistance to high temperatures and permanent deformation. Specific gravity exhibited only minor changes, while flash and fire points slightly decreased due to alterations in the binder's thermal characteristics.

Copyright © 2026 Universitas Islam Indonesia
All rights reserved

Pendahuluan

Limbah ban karet bekas menjadi salah satu permasalahan lingkungan yang dihadapi berbagai negara akibat tingginya volume limbah yang dihasilkan serta masih terbatasnya upaya pengelolaannya. Di Indonesia, sebagai negara berkembang, jumlah limbah ban terus meningkat seiring dengan pertumbuhan kendaraan bermotor. Berdasarkan data Asosiasi Perusahaan Ban Indonesia tahun 2016, konsumsi ban meningkat dari 39 juta menjadi 45 juta unit

per tahun. Jumlah tersebut diperkirakan menghasilkan tumpukan limbah ban yang setara dengan luas sekitar 30 lapangan sepak bola setiap tahunnya (Iduwin dkk., 2023). Oleh karena itu, diperlukan upaya pemanfaatan kembali limbah ban agar memberikan nilai tambah. Salah satu alternatif yang dapat diterapkan adalah memanfaatkan limbah ban bekas sebagai bahan tambahan dalam campuran beton aspal.

Penelitian Widhiatmoko dan Hadi (2024) menjelaskan bahwa penambahan serbuk ban karet pada kedua jenis aspal meningkatkan nilai stabilitas pada campuran AC-WC hingga kadar optimum 4% serbuk ban karet sebesar 923,11 kg pada campuran menggunakan Aspal PG 70 dan 903,09 kg pada Aspal Pen 60/70, serta menurunkan nilai *flow*. Akan tetapi, penambahan serbuk ban karet yang berlebihan menyebabkan stabilitas dan *flow* menurun akibat berkurangnya efektivitas ikatan antar agregat. Hasil ini menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah ban bekas dapat meningkatkan kinerja campuran aspal sekaligus menjadi alternatif yang ramah lingkungan dalam mengurangi limbah ban.

Penelitian oleh Iqbal dan Fauziah (2023) menganalisis pengaruh penambahan serbuk ban karet pada campuran HRS-WC menggunakan metode pencampuran Marshall dan dua tahap dengan variasi kadar 0%, 2%, 4%, dan 6%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan serbuk ban karet meningkatkan karakteristik campuran, terutama pada kadar 2%, yang menghasilkan nilai stabilitas, volumetrik, dan *Tensile Strength Ratio* (TSR) terbaik. Sementara itu, nilai Indirect Tensile Strength (ITS) meningkat pada kadar 2% dan 4%. Selain itu, parameter *Indirect Resilient Stiffness* (IRS), *Cantabro Loss* (CL), *Stiffness Mix* (Smix), dan *Asphalt Flow Down* (AFD) juga mengalami perbaikan, dengan metode pencampuran dua tahap memberikan kinerja yang lebih baik dibandingkan metode Marshall.

Qassim Al-Salih (2020) meneliti pengaruh penambahan *crumb rubber* pada campuran beton aspal menggunakan kadar 3%, 6%, dan 9% pada aspal penetrasi 60/70. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan *crumb rubber* meningkatkan nilai stabilitas hingga kadar optimum 6%, kemudian menurun pada kadar 9%, sedangkan nilai *flow* cenderung meningkat seiring bertambahnya kadar *crumb rubber*. Selain itu, campuran *Stone Matrix Asphalt* (SMA) dan *Crumb Rubber Modified Bitumen*

(CRMB) memiliki ketahanan terhadap deformasi permanen (*rutting*) yang lebih baik dibandingkan campuran *Bituminous Concrete* (BC).

Widhiatmoko dan Hadi (2024) mendapatkan hasil campuran HRS-WC dan SUPERPAVE pada Aspal PEN 60/70 dan Aspal PG 70 dengan penambahan serbuk ban karet 4% meningkatkan nilai stabilitas serta menurunkan nilai *flow* pada uji *Marshall* perendaman *waterbath* 60°C selama 30 menit maupun perendaman 24 jam atau IRS. Walaupun hasil terbaik tetap pada campuran dengan menggunakan Aspal PG 70, hal ini dikarenakan sifat dari aspal PG yang dapat menahan suhu ekstrim dibandingkan campuran aspal Pen 60/70 serta nilai titik lembek dan penetrai.

Apteda dkk. (2023) membandingkan karakteristik *Marshall* campuran beraspal yang menggunakan aspal PG 70 dan aspal PEN 60/70 pada proyek preservasi Jalan Sidoarjo–Malang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran dengan aspal PG 70 menghasilkan nilai *Marshall Quotient* (MQ) yang lebih tinggi dibandingkan aspal PEN 60/70, sehingga menunjukkan kemampuan yang lebih baik dalam meningkatkan stabilitas, daya dukung, serta ketahanan campuran terhadap deformasi akibat beban lalu lintas dan perubahan suhu.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa penambahan serbuk ban karet dapat meningkatkan kinerja campuran beraspal, seperti stabilitas, ketahanan terhadap deformasi permanen, dan ketahanan terhadap kerusakan akibat air. Namun, sebagian besar penelitian masih berfokus pada karakteristik campuran, sementara kajian mengenai perubahan sifat fisik aspal sebagai bahan pengikat relatif terbatas. Padahal, karakteristik campuran sangat dipengaruhi oleh sifat dasar aspal yang digunakan. Oleh karena itu, penelitian terhadap karakteristik fisik aspal akibat penambahan serbuk ban karet penting dilakukan untuk memahami interaksi antara serbuk ban karet dengan aspal konvensional.

maupun aspal polimer serta sebagai dasar dalam menentukan efektivitas modifikasi sebelum diaplikasikan pada campuran perkerasan.

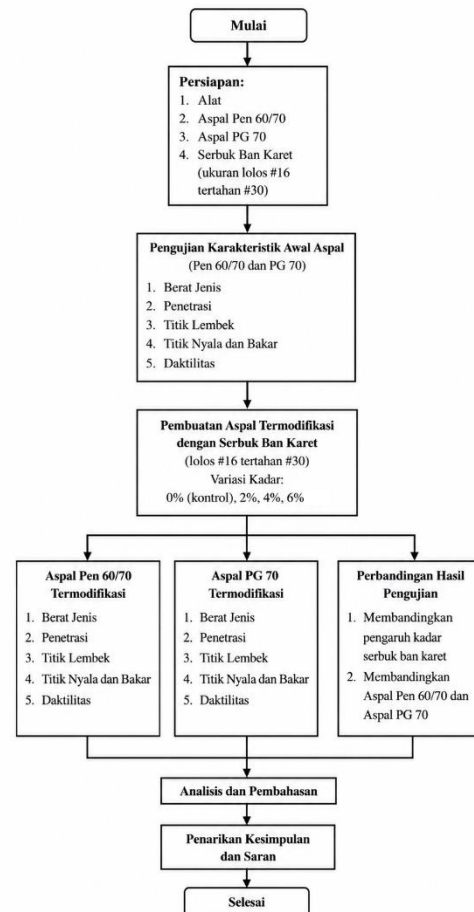
Berdasarkan uraian tersebut dirumuskan bahwa perlu adanya penelitian pengaruh penambahan serbuk ban karet terhadap karakteristik fisik aspal melalui pengujian sifat-sifat dasar aspal, maka dilakukan penelitian berjudul "Analisis Pengaruh Serbuk Ban Karet Terhadap Sifat Fisik Aspal Pen 60/70 dan Aspal PG 70". Penelitian difokuskan pada karakteristik aspal sebagai bahan pengikat untuk mengetahui perubahan sifat fisik yang terjadi akibat modifikasi serbuk ban karet, tanpa meninjau kinerja campuran beton aspal.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental laboratorium untuk menganalisis pengaruh penambahan serbuk ban karet terhadap sifat fisik aspal Pen 60/70 dan aspal PG 70. Modifikasi aspal dilakukan dengan menambahkan serbuk ban karet pada beberapa variasi kadar tertentu terhadap berat aspal. Selanjutnya, aspal termodifikasi diuji untuk mengetahui perubahan karakteristik aspal. Adapun parameter karakteristik aspal yang ditinjau antara lain berat jenis, penetrasi, titik lembek, dan titik nyala bakar.

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Jalan Raya Universitas Islam Indonesia. Berikut merupakan pengujian yang dilakukan dalam penelitian.

1. Melakukan studi literatur.
2. Menyiapkan peralatan dan material aspal pen 60/70 , aspal PG 70, dan serbuk ban karet.
3. Pengujian karakteristik awal aspal
4. Pembuatan aspal dengan campuran serbuk ban karet dengan ukuran karet lolos saringan #16 tertahan no #30.
5. Pengujian karakteristik aspal termodifikasi serbuk ban karet.
6. Analisis dan pembahasan
7. Penarikan kesimpulan dan saran.



Gambar 1. Flowchart Penelitian

Hasil dan Pembahasan

Pengujian karakteristik aspal tanpa menggunakan serbuk ban karet

Pengujian karakteristik aspal tanpa penambahan serbuk ban karet ini dilakukan untuk mengetahui sifat dasar aspal sebelum dilakukan modifikasi. Pengujian meliputi berat jenis, penetrasi, titik lembek, daktilitas, dan titik nyala bakar. Hasil pengujian ini selanjutnya digunakan sebagai acuan dalam mengevaluasi pengaruh penambahan serbuk ban karet terhadap karakteristik aspal. Adapun hasil pengujian aspal tanpa menggunakan serbuk ban karet dapat dilihat pada Tabel 1 dan 2 berikut ini.

Tabel 1. Hasil Pengujian Aspal Pen 60/70

Jenis Pengujian	Spesifikasi*	Hasil
Berat Jenis	$\geq 1,0$	1,035
Penetrasi (0,1 mm)	60-70	65,5
Titik Lembek ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 48	48
Daktilitas (cm)	≥ 100	164
Titik Nyala ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 232	320
Titik Bakar ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 232	325

Tabel 2. Hasil Pengujian Aspal PG 70

Jenis Pengujian	Spesifikasi*	Hasil
Berat Jenis	-	1,052
Penetrasi (0,1 mm)	Dilaporkan	57,5
Titik Lembek ($^{\circ}\text{C}$)	Dilaporkan	55
Daktilitas (cm)	≥ 50	130
Titik Nyala ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 225	311
Titik Bakar ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 225	317

Berdasarkan hasil pengujian, Aspal Pen 60/70 dan Aspal PG 70 memenuhi seluruh spesifikasi yang dipersyaratkan sehingga layak digunakan sebagai bahan pengikat pada campuran perkerasan jalan. Aspal PG 70 memiliki nilai penetrasi yang lebih rendah dan titik lembek yang lebih tinggi dibandingkan Aspal Pen 60/70 dikarenakan aspal PG 70 sendiri merupakan jenis aspal modifikasi jenis polimer yang menunjukkan karakteristik lebih keras dan lebih tahan terhadap temperatur tinggi. Sebaliknya, Aspal Pen 60/70 memiliki nilai daktilitas yang lebih tinggi sehingga lebih fleksibel. Dari hasil pengujian ini didapatkan hasil bahwa Aspal PG 70 lebih baik dari aspal Pen 60/70. Secara umum, kedua jenis aspal menunjukkan karakteristik yang baik sesuai dengan spesifikasi masing-masing

Pengujian karakteristik aspal dengan menggunakan serbuk ban karet

Tabel 3. Hasil Pengujian Aspal Pen 60/70 dengan Penambahan Serbuk Ban Karet

Jenis Pengujian		Kadar Serbuk Ban Karet (%)		
		2	4	6
Berat Jenis		1,039	1,043	1,036
Penetrasi (0,1 mm)		63	61	58

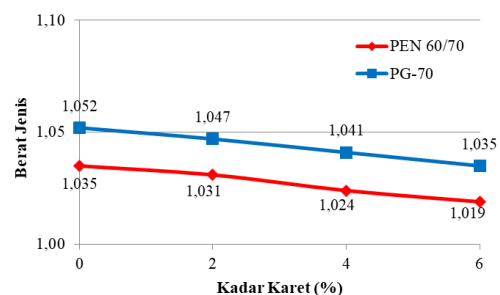
Lanjutan Tabel 3. Hasil Pengujian Aspal Pen 60/70 dengan Penambahan Serbuk Ban Karet

Jenis Pengujian	Kadar Serbuk Ban Karet (%)		
	2	4	6
Titik Lembek ($^{\circ}\text{C}$)	51	56	59
Daktilitas (cm)	152	145	138
Titik Nyala ($^{\circ}\text{C}$)	307	302	298
Titik Bakar ($^{\circ}\text{C}$)	311	307	302

Tabel 4. Hasil Pengujian Aspal PG 70 dengan Penambahan Serbuk Ban Karet

Jenis Pengujian	Kadar Serbuk Ban Karet (%)		
	2	4	6
Berat Jenis	1,058	1,062	1,056
Penetrasi (0,1 mm)	53	50	47
Titik Lembek ($^{\circ}\text{C}$)	59	62	65
Daktilitas (cm)	115	104	95
Titik Nyala ($^{\circ}\text{C}$)	302	298	290
Titik Bakar ($^{\circ}\text{C}$)	308	301	295

Data yang disajikan merupakan hasil rata-rata dengan jumlah pengulangan sebanyak dua kali pengujian dari parameter yang dilakukan. Adapun penjelasan hasil pengujian adalah sebagai berikut ini.



Gambar 2. Grafik Hasil Uji Berat Jenis dengan Penambahan Serbuk Ban karet

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan serbuk ban karet cenderung meningkatkan berat jenis aspal hingga kadar 4%. Pada aspal PEN 60/70, berat jenis meningkat dari 1,035 menjadi 1,043, sedangkan pada aspal PG 70 meningkat dari 1,052 menjadi 1,062. Namun, pada kadar 6%, nilai berat jenis kembali menurun menjadi 1,036 untuk aspal PEN 60/70 dan

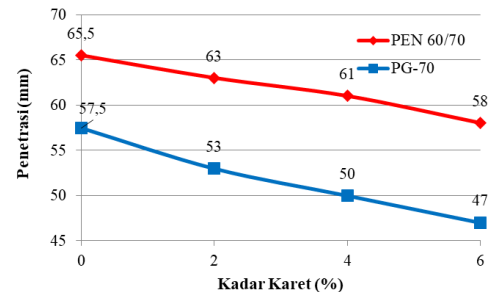
1,056 untuk aspal PG 70. Kondisi ini menunjukkan bahwa pada kadar tertentu serbuk ban karet dapat terdispersi dengan baik dan meningkatkan kepadatan binder, tetapi penambahan yang berlebihan menyebabkan pengembangan volume campuran sehingga berat jenis cenderung menurun.

Penurunan berat jenis dikarenakan karet memiliki sifat mengembang dalam binder secara akibat berpori mikroskopis dimana menyebabkan volume efektif campuran bertambah lebih besar dari pada pertambahan massanya. Berat jenis merupakan rasio massa jenis material terhadap air. *Crumb rubber* dari ban bekas umumnya memiliki *specific gravity* 1,1–1,2, sedikit lebih tinggi daripada aspal murni (1,02–1,05). *Crumb rubber* bersifat elastis, berpori mikroskopis, dan mampu menjebak udara. Saat dicampur dengan aspal panas, karet menyerap fraksi minyak aromatik dari aspal, dan mengembang membuat massa jenis efektifnya dalam campuran lebih rendah. Inilah sebabnya mengapa meskipun secara teoritis karet lebih berat daripada aspal, secara volumetrik dalam campuran ia “terasa lebih ringan” karena pori-pori internal dan sifat pengembangannya.

Xing dkk., (2023) menjelaskan bahwa partikel crumb rubber memiliki sifat menyerap komponen ringan aspal dan mengalami pengembangan (swelling) dimana volume partikel meningkat dan mempengaruhi karakteristik fisik binder. Li, P et al. (2017) menjelaskan bahwa laju percepatan karet mengembang bergantung pada peningkatan campuran serbuk ban karetnya dan pada kadar 20% kecepatan pengembangan volume sebesar 6,49 kali lebih banyak, dan pada kadar 5% kecepatan volume hanya meningkat 1,06 kali lipatnya.

Hal ini menunjukkan bahwa terdapat kadar optimum serbuk ban karet yang mampu meningkatkan kepadatan binder, sedangkan pada penambahan yang terlalu tinggi justru mengurangi efektivitas peningkatan berat jenis akibat laju pengembangan volume

serbuk ban karet pada campuran aspal setelah menyerap komponen ringan aspal.



Gambar 3. Grafik Hasil Uji Penetrasi dengan Penambahan Serbuk Ban karet

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan serbuk ban karet menyebabkan nilai penetrasi aspal mengalami penurunan. Pada aspal PEN 60/70, nilai penetrasi menurun dari 65,5 mm menjadi 58 mm, sedangkan pada aspal PG 70 turun dari 57,5 mm menjadi 47 mm. Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan Rini dkk. (2018) yang melaporkan bahwa peningkatan kadar limbah karet menyebabkan nilai penetrasi semakin menurun. Temuan serupa juga dilaporkan oleh Indriyati dan Susanto (2015), di mana penambahan 3% limbah ban karet pada aspal PEN 60/70 menurunkan nilai penetrasi dari 66,5 mm menjadi 47,05 mm.

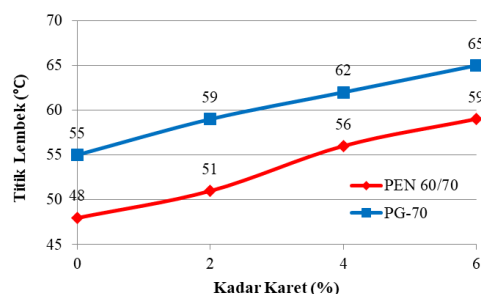
Penurunan nilai penetrasi ini menunjukkan bahwa penambahan serbuk ban karet pada aspal membuat aspal menjadi lebih keras dan kaku akibat interaksi antara partikel karet dan komponen aspal. Serbuk ban karet menyerap fraksi minyak ringan dalam aspal dan mengalami proses *swelling* sehingga mengurangi kemampuan aspal terhadap deformasi. Akibatnya, tahanan terhadap penetrasi jarum semakin besar sehingga kedalaman penetrasi menjadi lebih kecil

Penelitian Mashaan dkk. (2014) menunjukkan bahwa penggunaan crumb rubber pada aspal secara konsisten menurunkan nilai penetrasi akibat proses *swelling* partikel karet yang meningkatkan kekakuan binder. Hal ini sesuai dengan penjelasan Abdelrahman dan Carpenter

(1999), yang menyatakan bahwa interaksi antara aspal dan serbuk ban karet terdapat proses *swelling* dan *degredagi*, sehingga meningkatkan kekakuan binder dan menurunkan nilai penetrasi. Li dkk., (2017) menjelaskan bahwa penambahan serbuk ban karet meningkatkan konsistensi dan kekakuan pada aspal dikarenakan serbuk ban karet menyerap komponen ringan aspal yaitu fraksi *saturates* dan *aromatics*.

Serbuk ban karet menyerap fraksi minyak ringan (*light fractions*) yang merupakan bagian dari komponen maltene, kemudian mengalami proses *swelling*. Penyerapan komponen maltene ini menyebabkan proporsi fraksi yang lebih berat, yaitu resin dan *asphaltenes*, menjadi lebih dominan dalam binder. *Asphaltenes* merupakan komponen yang bersifat sangat polar dan memiliki berat molekul tinggi, sehingga berperan dalam meningkatkan viskositas serta kekakuan aspal. Akibatnya, kemampuan aspal untuk mengalami deformasi berkurang dan ketahanannya terhadap beban meningkat. Pada saat pengujian penetrasi, jarum memperoleh tahanan yang lebih besar untuk menembus permukaan aspal sehingga kedalaman penetrasi menjadi lebih kecil.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penambahan serbuk ban karet berpengaruh signifikan terhadap karakteristik penetrasi aspal, yaitu meningkatkan kekerasan dan kekakuan aspal sehingga berpotensi meningkatkan ketahanannya terhadap deformasi pada temperatur tinggi.



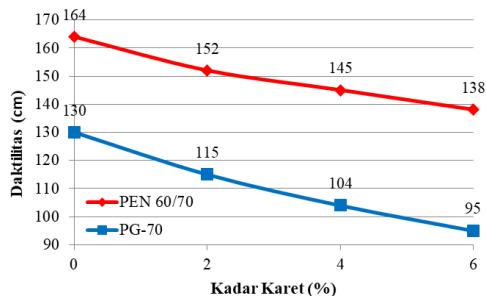
Gambar 4. Grafik Hasil Uji Titik Lembek dengan Penambahan Serbuk Ban karet

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan serbuk ban karet meningkatkan nilai titik lembek pada kedua jenis aspal, yang mengindikasikan meningkatnya ketahanan aspal terhadap pengaruh suhu tinggi. Pada aspal PEN 60/70, nilai titik lembek meningkat dari 55°C menjadi 65°C, sedangkan pada aspal PG 70 meningkat dari 48°C menjadi 59°C. Hasil ini sesuai dengan penelitian Widhiatmoko dan Hadi (2024) dimana penambahan serbuk ban karet meningkatkan nilai titik lembek pada semua jenis aspal yang digunakan yaitu aspal Pen 60/70 dan Aspal PG 70. Peningkatan ini berkaitan dengan menurunnya nilai penetrasi yang menunjukkan bahwa aspal menjadi lebih keras dan kaku setelah dimodifikasi dengan serbuk ban karet. Partikel karet menyerap fraksi ringan aspal (*maltene*) dalam aspal dan mengalami proses *swelling*, sehingga meningkatkan kemampuan binder serta memperkuat struktur internal aspal. Kondisi tersebut menyebabkan aspal memerlukan suhu yang lebih tinggi untuk mencapai kondisi melunak.

Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan Maleve dkk. (2023) yang menunjukkan bahwa peningkatan kadar limbah ban karet menyebabkan nilai titik lembek semakin tinggi, sehingga aspal menjadi lebih tahan terhadap perubahan temperatur dibandingkan aspal konvensional. Temuan serupa juga dilaporkan oleh Rini dkk. (2018), yang menyatakan bahwa peningkatan kadar limbah karet berbanding lurus dengan kenaikan titik lembek aspal. Selain itu, penelitian oleh Mashaan dkk. (2014) menunjukkan bahwa penggunaan *crumb rubber* pada aspal dapat meningkatkan titik lembek secara signifikan akibat meningkatnya kekakuan dan elastisitas binder setelah proses modifikasi. Medina & Underwood (2017) menjelaskan bahwa kenaikan ini dipicu oleh kombinasi fenomena pengembangan fisik (*physical swelling*) dan pemecahan partikel (*particle splitting*) dimana dari fraksi minyak ringan yang terserap dalam pori karet menyebabkan

ban karet membengkak 15,8 hingga 49,3% dari ukuran aslinya dan saat proses pengadukan Sebagian karet melunak dan terpecah (*splitting*) menjadi partikel-partikel kecil dalam jumlah banyak yang mengisi volume total padatan karet dalam campuran.

Dengan demikian, penambahan serbuk ban karet terbukti mampu meningkatkan nilai titik lembek hingga kadar karet optimumnya sehingga mengurangi sensitivitas termal aspal dan meningkatkan ketahanannya terhadap deformasi plastis pada suhu tinggi, sehingga berpotensi meningkatkan umur layan perkerasan, terutama pada daerah beriklim tropis dengan temperatur permukaan perkerasan yang relatif tinggi.



Gambar 5. Grafik Hasil Uji Daktilitas dengan Penambahan Serbuk Ban karet

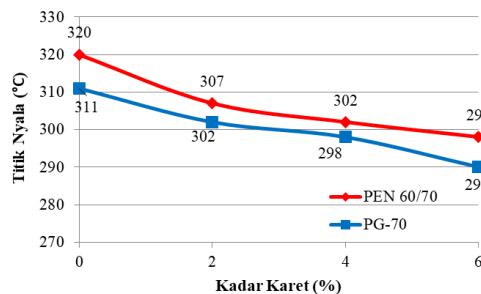
Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan serbuk ban karet menyebabkan nilai daktilitas aspal mengalami penurunan. Pada aspal PEN 60/70, nilai daktilitas menurun hingga 138 cm, sedangkan pada aspal PG 70 turun menjadi 95 cm. Penurunan ini mengindikasikan bahwa aspal menjadi lebih kaku dan kurang mampu mengalami deformasi tarik sebelum putus. Kondisi tersebut terjadi karena partikel serbuk ban karet yang terdispersi dalam aspal meningkatkan kekakuan binder serta membatasi mobilitas molekul aspal, sehingga kemampuan regangan aspal berkurang. Selain itu, distribusi partikel karet yang belum sepenuhnya homogen dapat mengganggu keseimbangan gaya kohesi dan adhesi dalam sistem aspal, yang turut berkontribusi terhadap penurunan daktilitas.

Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan Maleve dkk. (2023), yang melaporkan bahwa peningkatan kadar limbah ban karet menurunkan nilai daktilitas secara signifikan dari 135,5 cm pada kadar 0% menjadi 48,3 cm pada kadar 20%. Temuan serupa juga dilaporkan oleh Indriyati dan Susanto (2015), yang menunjukkan bahwa penambahan limbah ban karet pada aspal PEN 60/70 menyebabkan penurunan daktilitas akibat meningkatnya kekakuan aspal termodifikasi.

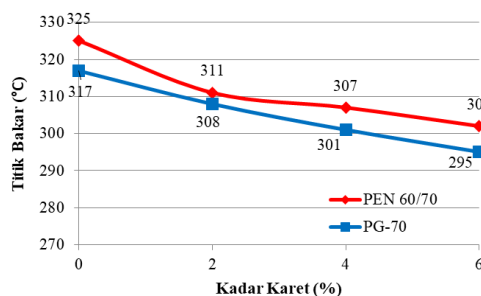
Xing dkk., (2023) menjelaskan bahwa nilai daktilitas akibat penambahan serbuk ban karet sangat bergantung pada tingkatan degradasi kimia dari karet tersebut dimana ketika karet dicampura pada suhu yang optimal maka karet mengalami proses pengembangan dan mulai terdegradasi menjadi molekul kecil yang larut kedalam aspal akan tetapi jika waktu campuran terlalu lama dan suhu terlalu tinggi (diatas 200°C) karet akan mengalami degradasi berlebihan sehingga aspal mengalami penuaan akibat oksidasi dan memecah rantai karet serta merukan elastisitasnya sehingga menurunkan nilai daktilitas atau kemampuan regang aspal karena material menjadi rapuh. Penelitian Zheng dkk., (2021) menjelaskan bahwa serbuk ban karet hanya mengalami pengembangan fisik tanpa degradasi yang cukup dimana partikel karet yang besar dan kaku bertindak menjadi konsentrasi tegangan didalam matriks aspal yang mengakibatkan aspal menjadi rapuh dan nilai daktilitasnya menurun saat ditarik pada suhu rendah. Selain itu, penelitian oleh Mashaan dkk. (2014) menunjukkan bahwa penggunaan crumb rubber pada binder aspal cenderung menurunkan daktilitas karena partikel karet yang tidak terdegradasi sepenuhnya bertindak sebagai pengotor padat atau titik konsentrasi rengangan yang memicu keretakan dini saat material ditarik, akan tetapi jika karet yang digunakan sangat halus dan diproses dengan waktu pencampuran optimal maka akan membuat karet lebih terdistribusi secara homogen yang mesikup nilai daktilitasnya tetap lebih rendah dari aspal murni tetapi memiliki

kemampuan pemulihan elastis yang membantu mencegah fatigue cracking pada perkerasan jalan.

Meskipun demikian, penurunan daktilitas ini umumnya diikuti oleh peningkatan ketahanan terhadap deformasi pada suhu tinggi. Oleh karena itu, penggunaan serbuk ban karet perlu mempertimbangkan kadar optimum agar diperoleh keseimbangan antara peningkatan kekakuan dan kemampuan regangan aspal, sehingga risiko retak akibat beban lalu lintas maupun perubahan temperatur dapat diminimalkan.



Gambar 6. Grafik Hasil Uji Titik Nyala dengan Penambahan Serbuk Ban karet



Gambar 5. Grafik Hasil Uji Titik Bakar dengan Penambahan Serbuk Ban karet

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan serbuk ban karet cenderung menurunkan nilai titik nyala (*flash point*) dan titik bakar (*fire point*) pada kedua jenis aspal. Pada aspal PEN 60/70, titik nyala menurun dari 320°C menjadi 298°C pada kadar serbuk ban karet 6%, sedangkan pada aspal PG 70 turun dari 311°C menjadi 290°C. Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan Rini dkk. (2018), yang melaporkan bahwa peningkatan kadar limbah ban karet menyebabkan penurunan nilai titik nyala dan titik bakar, dengan nilai titik nyala

terendah sebesar 310°C pada kadar 5% limbah ban karet. Penurunan titik nyala bakar ini mengindikasikan bahwa aspal termodifikasi serbuk ban karet menjadi lebih mudah mengalami penguapan dan penyalan pada suhu yang lebih rendah dibandingkan aspal tanpa modifikasi. Kondisi tersebut diduga terjadi akibat perubahan karakteristik termal binder yang disebabkan oleh interaksi antara aspal dan partikel karet, serta adanya senyawa volatil yang terkandung dalam serbuk ban karet yang dapat memengaruhi stabilitas termal campuran.

Penelitian Xing dkk., (2023) menjelaskan bahwa saat pencampuran serbuk ban karet dengan aspal pada suhu tinggi (180°C - 220°C) dalam jangka waktu yang panjang menyebabkan adanya proses penuaan oksidatif (*oxidative ageing*) akibat reaksi dengan udara di mana penuaan ini menguapkan komponen ringan dari aspal yang bersifat mudah menyala sudah berkurang karena terserap oleh karet maupun menguap saat pencampuran. Hal ini sesuai dengan penelitian Li dkk., (2017)

Dimana menjelaskan bahwa saat pencampuran *crumb rubber* yang diaduk pada suhu tinggi (140°C - 195°C) yang memicu penguapan dan pengurangan komponen-komponen aspal ringan. Medina & Underwood, (2017) menjelaskan bahwa aspal murni yang diocn selama 2 jam pada suhu ringgi 170°C sebelum pencampuran serbuk ban karet menyebabkan proses termal mengurangi fraksi aspal murni yang bersifat volatile atau mudah menguap dan memicu nyala api menjadi menguap ke udara.

Penurunan titik nyala ini mengindikasikan bahwa campuran aspal menjadi lebih mudah terbakar akibat perubahan sifat kimiawi dan termal dari interaksi antara komponen aspal dan partikel karet, sehingga perlu diperhatikan dari sisi keamanan dalam proses produksi maupun aplikasi lapangan.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penambahan serbuk ban karet memberikan pengaruh yang signifikan terhadap sifat fisik aspal yang digunakan yaitu aspal Pen 60/70 maupun aspal PG 70. Secara spesifik, pengaruh serbuk ban karet pada aspal antara lain :

1. Pada hasil berat jenis penambahan serbuk ban karet pada kedua jenis aspal menyebabkan penurunan nilai berat jenis aspal seiring dengan meningkatnya penambahan serbuk ban karet.
2. Pada hasil penetrasi pada kedua jenis aspal mengalami penurunan dikarenakan penambahan serbuk ban karet membuat aspal menjadi lebih keras.
3. Pada hasil titik lembek pada kedua jenis aspal mengalami peningkatan titik lembeknya yang berarti penambahan serbuk ban karet membuat aspal tahan terhadap suhu tinggi.
4. Pada hasil daktilitas pada kedua jenis aspal mengalami penurunan dikarenakan penambahan serbuk ban karet membuat terganggunya kohesi dan adhesi pada aspal.
5. Pada hasil titik nyala bakar pada kedua jenis aspal mengalami penurunan dikarenakan saat pemanasan aspal dan serbuk ban karet ada proses penguapan dan penyerapan pada fraksi ringan aspal.

Penurunan nilai daktilitas mengindikasikan bahwa penggunaan serbuk ban karet perlu mempertimbangkan kadar karet optimum agar peningkatan kekakuan tidak diikuti retak pada suhu redah atau pembebanan berulang. Oleh karena itu kadar serbuk ban karet optimum terdapat pada 4% hal ini dikarenakan pada kadar tersebut peningkatan kekakuan dan ketahanan terhadap suhu tinggi yang ditunjukkan oleh menurunnya nilai penetrasi dan meningkatnya titik lembek, tanpa menyebabkan penurunan sifat daktilitas yang terlalu besar. Oleh karena itu, penggunaan serbuk ban karet sebesar 4% direkomendasikan sebagai kadar yang

paling efektif untuk memodifikasi aspal Pen 60/70 maupun aspal PG 70.

Implikasi dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan serbuk ban karet sebagai bahan modifikasi binder aspal berpotensi meningkatkan ketahanan aspal terhadap deformasi dan suhu tinggi, sehingga modifikasi ini dapat digunakan dalam penerapan perkerasan yang menerima beban lalu lintas berat seperti jalan arteri, jalan tol, dan daerah yang memiliki suhu tinggi.

Daftar Pustaka

- Apteda, P. E., Royyan, M., Yuwanto, H. A. P., Romadhon, M. H. S., & Putri, A. M. (2023). Perbandingan karakteristik Marshall pada aspal modifikasi polimer PG70 dengan aspal minyak Pen 60/70 pada proyek preservasi jalan Sidoarjo Malang. *Jurnal Riset Rumpun Ilmu Teknik*, 2(1), 23–31. <https://doi.org/10.55606/jurritek.v2i1.867>
- Indriyati, E. W., & Susanto, H. A. (2015). Kajian Sifat-Sifat Reologi Aspal dengan Penambahan Limbah Ban Bekas. *Dinamika Rekayasa*, 11(1), 24–28.
- Iqbal, & Fauziah, M. (2023). Studi Eksperimental Penggunaan Bahan Tambah Limbah Ban Karet dengan Metode Pencampuran Bertahap terhadap Kinerja Campuran Hot Rolled Sheet-Wearing Course. 44(2), 167–175. <https://doi.org/10.14710/teknik.v44i2.57565>
- Li, P., Ding, Z., Zou, P., & Sun, A. (2017). Analysis of physico-chemical properties for crumb rubber in process of asphalt modification. *Construction and Building Materials*, 138, 418–426. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.01.107>
- Maleve, J. M., Abongo, D. A., Oduor, F. D. O., & Mwea, S. K. (2023). The effects of waste tire rubber on penetration, softening point, viscosity, ductility, flash point, specific gravity, solubility and aging of bitumen used in Kenya. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*, 120 133. <https://doi.org/10.32628/ijsrst2310185>
- Medina, J. R., & Underwood, B. S. (2017). Micromechanical shear modulus modeling of activated crumb rubber modified asphalt cements. *Construction and Building Materials*, 150, 56–65. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.208>

- Qassim Al-Salih, W. (2020). Using Crumb Rubber to Improve the Bituminous Mixes: Experimental Investigation of Rutting Behavior of Flexible Asphalt Mix for Road Construction. *Journal of Physics: Conference Series*, 1527(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1527/1/012015>
- Rini, T. K., Pratama, W., & Amarwati, A. (2018). Pengaruh Penambahan Limbah Karet Ban Terhadap Kuat Tekan Marshall Pada Campuran Beton Aspal. Program Studi Teknik Sipil. Universitas Borobudur. Jakarta
- Ren, S., Liu, X., Xu, J., & Lin, P. (2021). Investigating the role of swelling-degradation degree of crumb rubber on CR/SBS modified porous asphalt binder and mixture. *Construction and Building Materials*, 300. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124048>
- Widhiatmoko, G., & Hadi, M. A. (2024). STUDI PERBANDINGAN KARAKTERISIK MARSHALL ASPAL PG70 DAN PEN 60/70 CAMPUR SERBUK BAN KARET PADA CAMPURAN BETON ASPAL. *Jurnal Transportasi*, 24(2), 113-123.
- Widhiatmoko, G., & Hadi, M. A. (2024). Studi Perbandingan karakteristik marshall dan IRS antara aspal polimer PG70 campur serbuk ban karet dengan aspal PEN 60/70 campur serbuk ban karet pada campuran HRS-WC dan SUPERPAVE.
- Xing, B., Feng, Y., Sun, S., Qian, C., Fang, C., Lv, X., Song, A., & Lyu, Y. (2023). Investigations on the rheological and swelling-degradation behavior of crumb rubber within the bituminous matrix. *Construction and Building Materials*, 367. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.130262>
- Zheng, W., Wang, H., Chen, Y., Ji, J., You, Z., & Zhang, Y. (2021). A review on compatibility between crumb rubber and asphalt binder. In *Construction and Building Materials* (Vol. 297). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123820>