

Pengaruh Penambahan Limbah Ban Dalam Bekas sebagai Bahan Tambah terhadap Karakteristik Marshall Campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)*

Sri Asfiati^{1*}, Zulkifly Siregar², Irma Dewi³, Sri Frapanti⁴, Partaonan Harahap⁵

^{1,2,3,4} Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

⁵ Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Email: email: sriasfiati@umsu.ac.id^{1*}, zulkiflysiregar@umsu.ac.id², irmadewi@umsu.ac.id³, srifrapanti@umsu.ac.id⁴, partaonanharahap@umsu.ac.id⁵

ABSTRAK

Pemanfaatan limbah ban dalam bekas sebagai bahan tambah pada campuran aspal merupakan salah satu upaya untuk meningkatkan kinerja perkerasan sekaligus mengurangi dampak lingkungan akibat limbah karet yang sulit terurai. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan limbah ban dalam bekas terhadap karakteristik Marshall pada campuran Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC). Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen laboratorium dengan variasi kadar karet ban dalam bekas sebesar 1,5%, 2%, dan 2,5% terhadap kadar aspal 5%, 5,5%, dan 6%. Parameter yang dianalisis meliputi *Bulk Density*, *Stabilitas*, *Flow*, *Void in Mix (VIM)*, *Void Filled with Asphalt (VFA)*, *Void in Mineral Aggregate (VMA)*, dan *Marshall Quotient (MQ)*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh variasi campuran memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018. Penambahan limbah ban dalam bekas memberikan pengaruh terhadap perubahan karakteristik Marshall campuran AC-WC. Variasi optimum diperoleh pada kadar 1,5% dengan nilai *Bulk Density* sebesar 2,294 gr/cc, *stabilitas* 1118 kg, *flow* 2,95 mm, *VIM* 4,35%, *VFA* 72,11%, *VMA* 15,30%, dan *MQ* 365 kg/mm. Selain meningkatkan performa campuran aspal, penggunaan limbah ban dalam bekas juga berpotensi diterapkan dalam skala besar pada konstruksi jalan. Pada lapisan AC-WC dengan kebutuhan campuran sekitar 120 kg/m², setiap 1 km jalan dengan lebar 7 meter mampu memanfaatkan sekitar 12,6 ton limbah karet ban dalam bekas. Dengan demikian, pemanfaatan limbah ban dalam bekas tidak hanya efektif sebagai bahan tambah alternatif pada campuran AC-WC, tetapi juga mendukung konsep konstruksi berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Kata kunci: limbah ban dalam bekas, AC-WC, bahan tambah, karakteristik Marshall, perkerasan jalan

ABSTRACT

The utilization of waste inner tube rubber as an additive in asphalt mixtures is one of the efforts to improve pavement performance while reducing environmental impacts caused by rubber waste that is difficult to decompose. This study aims to analyse the effect of adding waste inner tube rubber on the Marshall characteristics of Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) mixtures. The research method used was a laboratory experimental approach with variations of waste inner tube rubber content of 1.5%, 2%, and 2.5% at asphalt contents of 5%, 5.5%, and 6%. The parameters analysed included Bulk Density, Stability, Flow, Void in Mix (VIM), Void Filled with Asphalt (VFA), Void in Mineral Aggregate (VMA), and Marshall Quotient (MQ). The results showed that all mixture variations met the 2018 Bina Marga Specifications. The addition of waste inner tube rubber influenced the changes in the Marshall characteristics of AC-WC mixtures. The optimum variation was obtained at 1.5% rubber content with a Bulk Density value of 2.294 gr/cc, Stability of 1118 kg, Flow of 2.95 mm, VIM of 4.35%, VFA of 72.11%, VMA of 15.30%, and MQ of 365 kg/mm. In addition to improving asphalt mixture performance, the use of waste inner tube rubber also has the potential for large-scale application in road construction. In AC-WC pavement layers with a mixture requirement of approximately 120 kg/m², every 1 km of road with a width of 7 meters can utilize around 12.6 tons of waste inner tube rubber. Therefore, the utilization of waste inner tube rubber is not only effective as an alternative additive in AC-WC mixtures, but also supports the concept of sustainable and environmentally friendly construction.

Keywords: inner tube rubber waste, AC-WC, additive, Marshall characteristics, pavement

Submitted:	Reviewed:	Revised:	Published:
25 Jan 2026	12 Mei 2026	18 Juni 2026	01 August 2026

PENDAHULUAN

Infrastruktur jalan memiliki peran strategis dalam mendukung mobilitas, pertumbuhan ekonomi, dan konektivitas wilayah. Kinerja perkerasan jalan sangat dipengaruhi oleh kualitas material penyusunnya, khususnya campuran aspal pada lapisan permukaan seperti Asphalt Concrete-

Wearing Course (AC-WC) (Salim dkk., 2023). Kualitas campuran ini harus memenuhi parameter teknis seperti *stabilitas*, *kelelahan (flow)*, serta karakteristik rongga yang diuji menggunakan metode Marshall sesuai spesifikasi Bina Marga (*PermenPUPR22-2018*, t.t.)

Seiring dengan meningkatnya volume lalu lintas dan beban kendaraan, diperlukan inovasi material untuk meningkatkan kinerja campuran aspal, baik dari segi ketahanan deformasi, keawetan, maupun efisiensi biaya (Muis dkk., 2019). Salah satu pendekatan yang banyak dikembangkan adalah penggunaan bahan tambah (*additive*) untuk memodifikasi sifat fisik dan mekanik aspal (Mashuri dkk., 2024; Irwanto dkk., 2023). Modifikasi ini bertujuan meningkatkan stabilitas, fleksibilitas, serta daya tahan terhadap retak dan deformasi permanen (Wahid & Taufan, 2020).

Di sisi lain, permasalahan lingkungan akibat limbah ban bekas menjadi isu global yang belum tertangani secara optimal. Ban bekas, khususnya karet ban dalam, merupakan limbah padat yang sulit terurai dan berpotensi mencemari lingkungan jika tidak dikelola dengan baik (Rashita & Wulandari, 2025; Vebrian dkk., 2025). Pemanfaatan limbah karet sebagai bahan tambah dalam campuran aspal menjadi solusi yang tidak hanya meningkatkan performa teknis, tetapi juga mendukung prinsip pembangunan berkelanjutan (*sustainable construction*) (Al Faritziehijriah dkk., 2021).



Gambar 1. Sampel limbah yang diujikan

Pada gambar 1. menampilkan sampel limbah yang digunakan serta proses pengujian yang dilakukan di laboratorium (Salim dkk., 2023; Sitompul dkk., 2024). Sampel limbah yang diuji berupa limbah karet ban dalam bekas kendaraan bermotor yang telah dipotong dan disiapkan sesuai kebutuhan campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)* (Nurdin & Nuklirullah, 2023; Khoiriyah dkk., 2024). Penggunaan limbah ban dalam bekas dipilih karena material tersebut termasuk limbah padat yang sulit terurai, namun memiliki sifat elastis dan daya ikat yang baik sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan tambah campuran aspal.

Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa penambahan karet ban bekas dalam campuran aspal dapat meningkatkan stabilitas dan ketahanan terhadap deformasi (Ban dkk., 2025). Studi (Azitama, 2025; Ramadhan dkk., 2024) menyatakan bahwa penggunaan crumb rubber mampu meningkatkan kinerja Marshall dan ketahanan terhadap rutting. Namun demikian, variasi kadar bahan tambah sangat mempengaruhi hasil karakteristik campuran, sehingga diperlukan penentuan kadar optimum yang tepat agar tidak menurunkan parameter lain seperti *VIM* dan *VFA* (Andriansyah & Walujodjati, 2023).

Meskipun penelitian terkait penggunaan limbah karet pada campuran aspal telah banyak dilakukan, kajian spesifik mengenai penggunaan karet ban dalam bekas sebagai bahan tambah pada campuran AC-WC dengan variasi kadar rendah (1,5%–2,5%) masih terbatas, khususnya dalam konteks

pemenuhan spesifikasi Bina Marga 2018 (Putra dkk., 2023). Selain itu, belum banyak penelitian yang secara komprehensif mengevaluasi seluruh parameter Marshall (*Bulk Density, Stability, Flow, VIM, VFA, VMA, dan MQ*) dalam satu kajian terintegrasi (Azitama, 2025; Massara dkk., 2024). Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan limbah ban dalam bekas sebagai bahan tambah terhadap karakteristik Marshall pada campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)* serta menentukan kadar optimum yang memberikan kinerja terbaik sesuai spesifikasi yang berlaku (Fadhil dkk., 2025; Lopian dkk., 2025; Muis dkk., 2019).

METODE PENELITIAN

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium untuk menganalisis pengaruh penambahan limbah ban dalam bekas sebagai bahan tambah terhadap karakteristik Marshall campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)*.

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah kadar limbah karet ban dalam bekas sebesar 1,5%, 2%, dan 2,5% terhadap berat campuran. Variabel terikat yang diamati meliputi parameter Marshall yaitu *Bulk Density, Stability, Flow, Void in Mix (VIM), Void Filled with Asphalt (VFA), Void in Mineral Aggregate (VMA), dan Marshall Quotient (MQ)*. Kadar aspal yang digunakan divariasikan sebesar 5%, 5,5%, dan 6% untuk menentukan

karakteristik campuran optimum (Asfiati dkk., 2022).

Tabel 1. Bahan - Bahan Penelitian

Komponen Penelitian	Uraian
Jenis Penelitian	Eksperimen laboratorium
Objek Penelitian	Campuran Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)
Tujuan	Menganalisis pengaruh penambahan limbah ban dalam bekas sebagai bahan tambah terhadap karakteristik Marshall
Variabel Bebas	Kadar limbah karet ban dalam bekas: 1,5%; 2%; 2,5% (terhadap berat campuran)
Variabel Terikat	Parameter Marshall: Bulk Density, Stabilitas, Flow, Void in Mix (VIM), Void Filled with Asphalt (VFA), Void in Mineral Aggregate (VMA), Marshall Quotient (MQ)
Variabel Kontrol	Jenis agregat, jenis aspal (penetrasi 60/70), metode pencampuran, suhu pemadatan
Variasi Kadar Aspal	5%; 5,5%; 6%
Metode Pengujian	Uji Marshall (SNI 06-2489-1991)
Acuan Standar	Spesifikasi Umum Bina Marga 2018

Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari:

1. Agregat kasar dan halus, diperoleh dari *Asphalt Mixing Plant (AMP)* PT Adhi Karya, Deli Serdang, Sumatera Utara.
2. Aspal keras penetrasi 60/70 produksi Pertamina. Nilai penetrasi menunjukkan tingkat kekerasan atau konsistensi aspal. Aspal penetrasi 60/70 memiliki sifat lebih keras dibandingkan aspal penetrasi 70/80 yang cenderung lebih lunak. Perbedaan sifat tersebut dapat mempengaruhi stabilitas, *flow*, fleksibilitas, durabilitas, serta daya ikat campuran aspal. Pada campuran dengan bahan tambah limbah karet ban dalam bekas, jenis penetrasi aspal menjadi penting karena interaksi antara aspal dan partikel karet sangat dipengaruhi oleh viskositas dan

tingkat kekerasan aspal. Aspal yang lebih lunak umumnya menghasilkan nilai *flow* lebih tinggi dan fleksibilitas lebih baik, sedangkan aspal yang lebih keras cenderung memberikan nilai stabilitas lebih tinggi. Oleh karena itu, penggunaan jenis penetrasi yang berbeda berpotensi menghasilkan karakteristik Marshall yang berbeda.

3. Limbah ban dalam bekas kendaraan, yang digunakan sebagai bahan tambah dan diperoleh dari limbah bengkel/toko ban.

Perancangan Campuran

Perancangan campuran AC-WC mengacu pada spesifikasi gradasi agregat sesuai SNI 03-2834-2000 dan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Komposisi agregat ditentukan melalui analisis gradasi untuk memenuhi batas spesifikasi lapisan AC-WC.

Variasi campuran dalam penelitian ini meliputi:

1. Kadar aspal: 5%, 5,5%, dan 6%
2. Kadar limbah karet: 1,5%, 2%, dan 2,5%

Tabel 2. Kombinasi Variasi Campuran

No	Kadar Aspal (%)	Kadar Karet (%)	Kode Campuran
1	5,0	0 (Normal)	N-5
2	5,5	0 (Normal)	N-5,5
3	6,0	0 (Normal)	N-6
4	5,0	1,5	K1-5
5	5,5	1,5	K1-5,5
6	6,0	1,5	K1-6
7	5,0	2,0	K2-5
8	5,5	2,0	K2-5,5
9	6,0	2,0	K2-6
10	5,0	2,5	K3-5
11	5,5	2,5	K3-5,5
12	6,0	2,5	K3-6

Prosedur Pengujian

Penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Persiapan bahan dan peralatan
2. Pengujian sifat fisik agregat dan aspal sesuai standar SNI
3. Pembuatan benda uji campuran AC-WC dengan variasi kadar aspal dan bahan tambah
4. Pengujian Marshall menggunakan metode standar SNI 06-2489-1991



Gambar 2. Dokumentasi Proses Pengujian Laboratorium

Pengujian Marshall dilakukan untuk memperoleh parameter:

1. Stabilitas
2. *Flow*
3. *Bulk Density*
4. *VIM (air void)*
5. *VFA (Void Filled with Asphalt)*
6. *VMA (void in mineral aggregate)*
7. Marshall Quotient (MQ)

Pada gambar 2. pengujian laboratorium meliputi tahapan persiapan material, penimbangan agregat dan aspal, pencampuran bahan, proses pemadatan benda uji Marshall, hingga pelaksanaan pengujian karakteristik campuran menggunakan alat Marshall Test (Massara dkk., 2024). Seluruh proses pengujian dilakukan di laboratorium dengan mengikuti prosedur dan standar pengujian yang berlaku untuk memastikan hasil penelitian memiliki tingkat akurasi dan keandalan yang baik (Azitama, 2025).

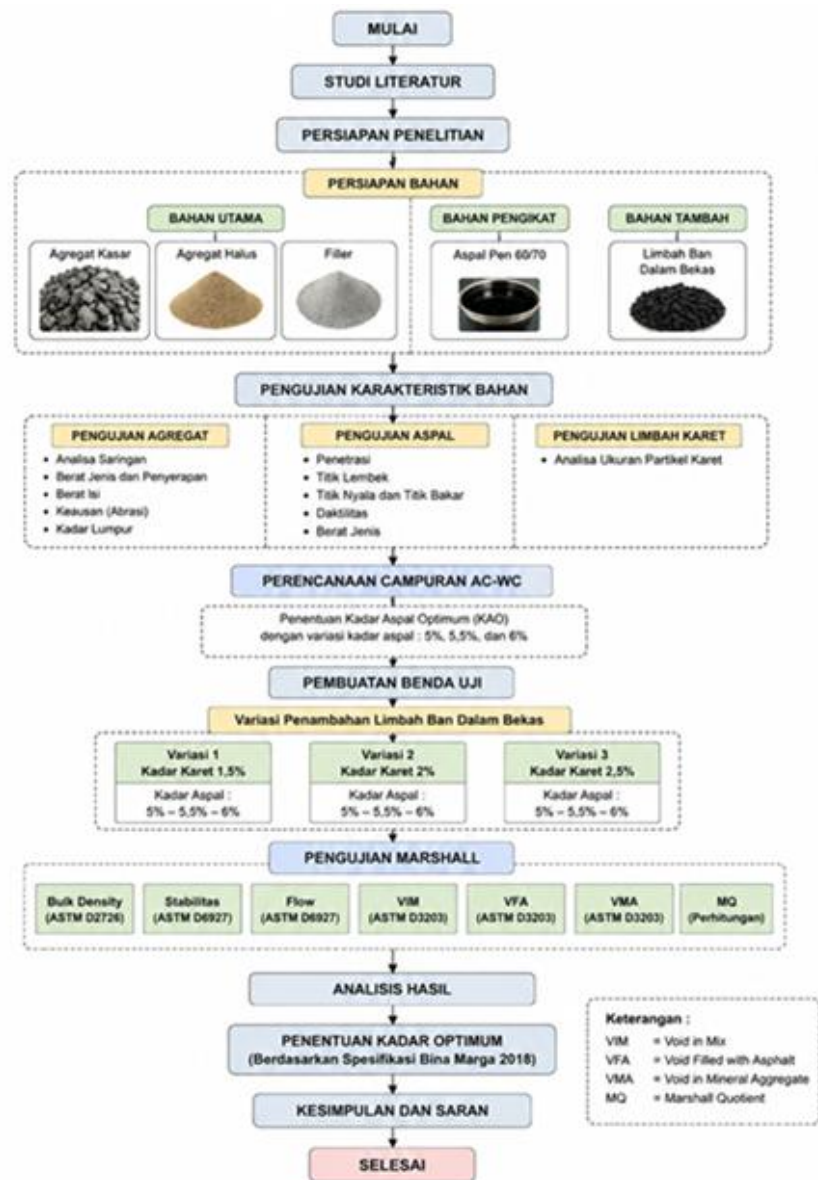
Teknik Analisis Data

Data hasil pengujian dianalisis secara deskriptif kuantitatif berdasarkan hasil pengujian Marshall terhadap campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)* dengan penambahan limbah ban dalam bekas sebagai bahan tambah. Analisis dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi kadar limbah karet terhadap karakteristik

campuran aspal serta menentukan kadar optimum yang memberikan performa terbaik sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.

Tahapan analisis dimulai dari pengumpulan data hasil pengujian karakteristik material, meliputi agregat, aspal penetrasi 60/70, dan limbah karet ban dalam bekas. Selanjutnya dilakukan perancangan campuran AC-WC dengan variasi kadar aspal sebesar 5%, 5,5%, dan 6%, serta variasi penambahan limbah karet sebesar 1,5%, 2%, dan 2,5%.

Data hasil pengujian Marshall dianalisis berdasarkan parameter Bulk Density, Stability, Flow, VIM, VFA, VMA dan Marshall Quotient (MQ). Nilai setiap parameter dibandingkan dengan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 untuk menentukan kelayakan campuran. Selanjutnya dilakukan analisis hubungan antara kadar limbah karet dengan perubahan karakteristik Marshall melalui tabel dan grafik untuk melihat kecenderungan peningkatan atau penurunan nilai parameter. Penentuan kadar optimum dilakukan dengan mempertimbangkan keseimbangan seluruh parameter Marshall, terutama stabilitas, flow, MQ, VIM, dan VFA. Variasi yang memberikan kombinasi terbaik antara kekuatan, fleksibilitas, dan durabilitas serta memenuhi spesifikasi dipilih sebagai kadar optimum campuran.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

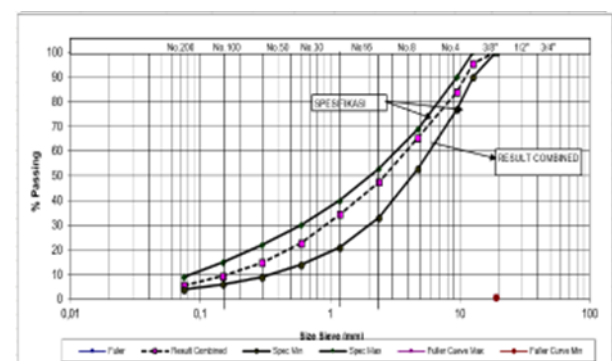
Selain analisis teknis, penelitian ini juga melakukan analisis pemanfaatan limbah dalam skala aplikasi lapangan dengan menghitung estimasi jumlah limbah karet ban dalam bekas yang dapat digunakan pada pekerjaan perkerasan jalan AC-WC. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui potensi kontribusi penelitian terhadap pengurangan limbah padat dan penerapan konstruksi jalan berkelanjutan (*sustainable pavement*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Marshall Campuran AC-WC

Hasil pengujian Marshall menunjukkan bahwa seluruh variasi campuran, baik tanpa maupun dengan penambahan limbah ban dalam bekas, memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018. Namun demikian, penambahan bahan tambah memberikan pengaruh yang berbeda terhadap setiap parameter

Marshall. Hasil uji Marshall untuk campuran normal dengan kadar aspal sebesar 5%, 5.5% dan 6% beserta hasil karet campur untuk variasi ban bekas sebesar 1,5%, 2% dan 2,5%.



Gambar 3. Grafik hasil proporsi campuran normal dan campuran dengan bahan tambah limbah ban dalam bekas.

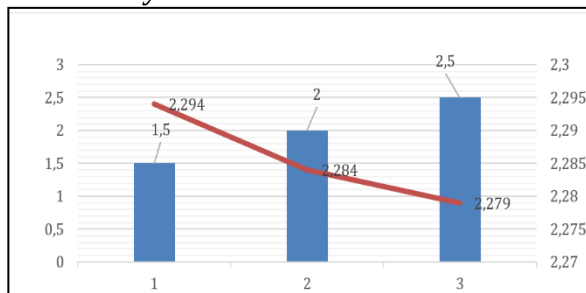
Tabel 3. Hasil uji *marshall* aspal campuran normal

Karakteristik	Satuan	Kadar Aspal			Spesifikasi Bina Marga 2018
		5%	5,5%	6%	
Bulk Density	gr/cc	2,283	2,297	2,307	-
Stability	Kg	919	1062	1156	Min 800
Flow	mm	2,37	3,13	3,37	2 – 4
Air Voids (VIM)	%	5,32	4,06	3,24	3 – 5
Void Filled with Asphalt (VFA)	%	64,93	73,16	78,97	Min 65
Void in Mineral Aggregate (VMA)	%	15,18	15,09	15,42	Min 15
Marshall Quotient (MQ)	kg/mm	388	339	343	Min 250

Tabel 4. Hasil uji *marshall* pada aspal campuran karet ban dalam bekas variasi 1,5%, 2%, dan 2,5%.

Karakteristik	Satuan	Variasi			Spesifikasi Bina Marga 2018
		1,5%	2%	2,5%	
Bulk Density	gr/cc	2,294	2,284	2,279	-
Stability	Kg	1118	1211	1224	Min 800
Flow	mm	2,95	3,30	3,50	2 – 4
Air Voids (VIM)	%	4,35	4,71	4,93	3 – 5
Void Filled with Asphalt (VFA)	%	72,11	70,32	68,85	Min 65
Void in Mineral Aggregate (VMA)	%	15,30	15,71	16,05	Min 15
Marshall Quotient (MQ)	kg/mm	365	358	355	Min 250

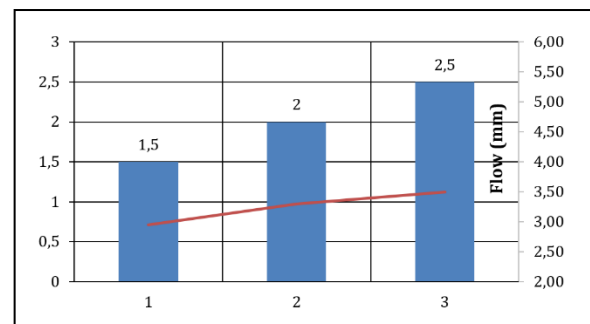
Bulk Density

**Gambar 4.** Grafik hubungan antara kadar karet ban dalam bekas (%) dengan *Bulk density* (gr/cc).

Berdasarkan gambar 4, nilai Bulk Density cenderung menurun seiring peningkatan kadar karet dari 1,5% ke 2,5%. Nilai tertinggi diperoleh pada variasi 1,5% sebesar 2,294 gr/cc. Penurunan ini menunjukkan bahwa karet ban dalam memiliki sifat elastis dan berat jenis lebih rendah dibanding agregat, sehingga meningkatkan volume rongga dalam campuran. Fenomena ini sejalan dengan penelitian yang menyatakan bahwa penambahan karet cenderung menurunkan densitas campuran akibat sifat deformabilitas material. Nilai densitas yang terlalu rendah dapat menurunkan kekuatan struktural, namun pada kadar tertentu (1,5%) masih memberikan kepadatan optimum.

Kelelahan (Flow)

Nilai *flow* meningkat dari 2,95 mm (1,5%) menjadi 3,50 mm (2,5%). Hal ini menunjukkan bahwa campuran menjadi lebih fleksibel dengan bertambahnya kadar karet.

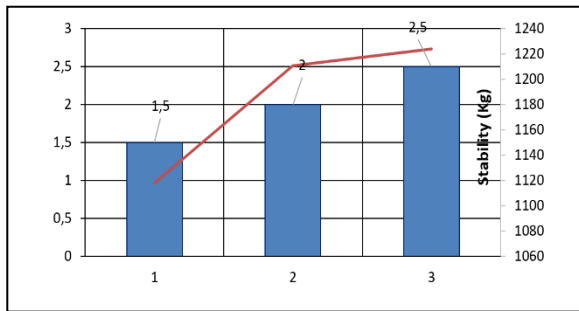
**Gambar 5.** Grafik hubungan antara kadar karet ban dalam bekas (%) dengan *Flow* (mm)

Secara mekanis, karet berfungsi sebagai material elastomer yang meningkatkan kemampuan deformasi sebelum terjadi keruntuhan. Temuan ini konsisten yang menyebutkan bahwa *rubberized asphalt* memiliki fleksibilitas lebih tinggi dibanding campuran konvensional. Peningkatan *flow* bermanfaat untuk mengurangi retak, namun jika terlalu tinggi dapat menurunkan stabilitas campuran.

Stabilitas

Nilai stabilitas meningkat hingga 1224 kg pada variasi 2,5%. Ini menunjukkan bahwa penambahan karet meningkatkan daya tahan terhadap beban. Peningkatan stabilitas disebabkan oleh interaksi antara aspal dan partikel karet yang meningkatkan kohesi internal campuran. Namun, peningkatan ini tidak linier terhadap kinerja keseluruhan karena harus dipertimbangkan bersama parameter lain seperti *flow* dan MQ. Stabilitas tinggi menunjukkan ketahanan terhadap

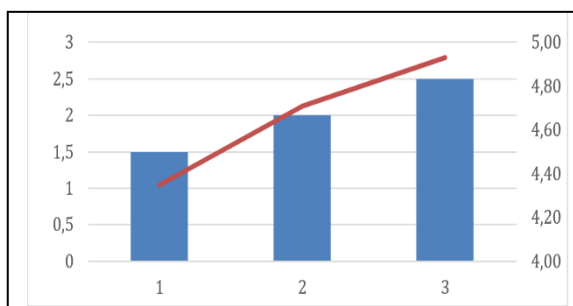
deformasi plastis (*rutting*), tetapi harus diimbangi dengan fleksibilitas yang sesuai.



Gambar 6. Grafik hubungan antara kadar karet ban dalam bekas (%) dengan stabilitas (kg)

Void in Mix (VIM)

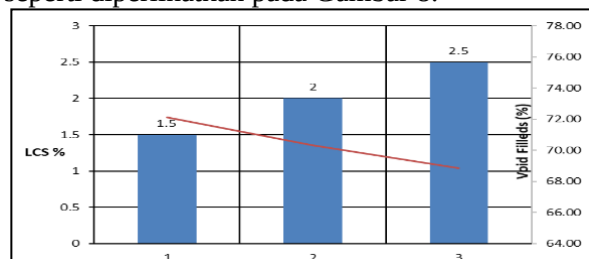
Nilai VIM berada dalam rentang 3%–5% dan meningkat seiring penambahan kadar karet. Hal ini menunjukkan bertambahnya rongga udara dalam campuran. Secara teoritis, peningkatan VIM terjadi karena distribusi partikel karet yang tidak sepadat agregat mineral. Nilai VIM yang masih dalam batas spesifikasi menunjukkan bahwa campuran tetap memiliki durabilitas yang baik. VIM yang terlalu tinggi dapat menyebabkan oksidasi aspal lebih cepat, tetapi dalam penelitian ini masih dalam batas aman.



Gambar 7. Grafik hubungan antara kadar karet ban dalam bekas (%) dengan Air voids/VIM

Void Filled with Asphalt (VFA)

Nilai VFA mengalami penurunan dari 71,11% menjadi 68,85% seiring bertambahnya kadar karet, seperti diperlihatkan pada Gambar 8.



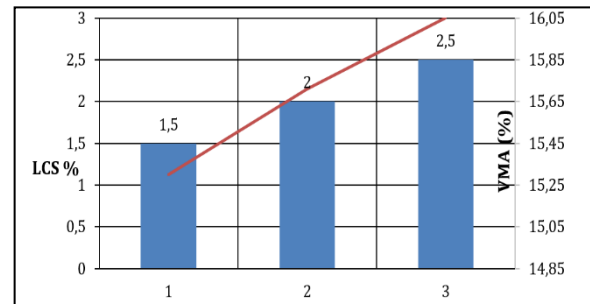
Gambar 8. Grafik hubungan antara kadar karet ban dalam bekas (%) dengan VMA (%)

Penurunan ini menunjukkan bahwa proporsi rongga yang terisi aspal berkurang akibat peningkatan volume rongga total. Fenomena ini berbanding terbalik dengan VIM. Nilai VFA yang lebih rendah menunjukkan

berkurangnya film aspal yang melapisi agregat, yang dapat mempengaruhi ketahanan terhadap air.

Void in Mineral Aggregate (VMA)

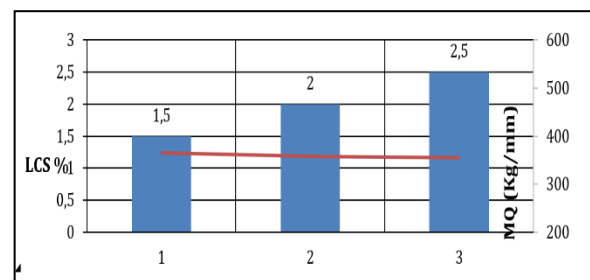
Nilai VMA meningkat dengan bertambahnya kadar karet. Hal ini menunjukkan meningkatnya volume rongga antar agregat. Kenaikan VMA disebabkan oleh bentuk dan sifat elastis karet yang mengganggu susunan rapat agregat. VMA yang cukup tinggi penting untuk memastikan ruang bagi aspal, namun jika berlebihan dapat menurunkan stabilitas struktural.



Gambar 9. Grafik hubungan antara kadar karet ban dalam bekas (%) dengan VMA (%)

Marshall Quotient (MQ)

Nilai MQ tertinggi diperoleh pada variasi 1,5% sebesar 365 kg/mm, kemudian menurun pada variasi yang lebih tinggi. MQ merupakan indikator kekakuan campuran (stabilitas/flow). Penurunan MQ menunjukkan bahwa campuran menjadi lebih fleksibel namun kurang kaku. Nilai MQ optimum menunjukkan keseimbangan antara kekuatan dan fleksibilitas, yang dalam penelitian ini dicapai pada kadar 1,5%.



Gambar 10. Grafik hubungan antara kadar karet ban dalam bekas (%) dengan MQ (%)

Analisis Kadar Optimum

Meskipun stabilitas tertinggi terjadi pada kadar 2,5%, kombinasi parameter terbaik diperoleh pada kadar 1,5%. Pada variasi ini, seluruh parameter memenuhi spesifikasi dengan keseimbangan optimal antara:

1. Stabilitas (kekuatan)
2. Flow (fleksibilitas)
3. MQ (kekakuan)
4. VIM & VFA (durabilitas)

Tabel 5. Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall

Karakteristik	Satuan	Campuran Normal 5%	Campuran Normal 5,5%	Campuran Normal 6%	Karet 1,5%	Karet 2%	Karet 2,5%	Spesifikasi Bina Marga 2018
Bulk Density	gr/cc	2,283	2,297	2,307	2,294	2,284	2,279	-
Stability	Kg	919	1062	1156	1118	1211	1224	Min 800
Flow	mm	2,37	3,13	3,37	2,95	3,30	3,50	2 – 4
Air Voids (VIM)	%	5,32	4,06	3,24	4,35	4,71	4,93	3 – 5
Void Filled with Asphalt (VFA)	%	64,93	73,16	78,97	72,11	70,32	68,85	Min 65
Void in Mineral Aggregate (VMA)	%	15,18	15,09	15,42	15,30	15,71	16,05	Min 15
Marshall Quotient (MQ)	kg/mm	388	339	343	365	358	355	Min 250

Seluruh hasil pengujian Marshall memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018. Penambahan limbah karet ban dalam bekas memberikan pengaruh terhadap seluruh parameter Marshall. Variasi paling efektif terdapat pada penambahan karet ban dalam bekas sebesar 1,5%, dengan:

1. Bulk Density = 2,294 gr/cc
2. Stability = 1118 kg
3. Flow = 2,95 mm
4. VIM = 4,35%
5. VFA = 72,11%
6. VMA = 15,30%
7. MQ = 365 kg/mm

Analisis Pemanfaatan Limbah Karet Ban Dalam Bekas pada Kadar Optimum

Untuk memperkuat kesimpulan penelitian, dilakukan estimasi jumlah limbah karet ban dalam bekas yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambah campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)* pada kadar optimum sebesar 1,5%. Analisis ini bertujuan untuk menunjukkan potensi penerapan hasil penelitian secara lebih luas, baik dari aspek teknis maupun lingkungan.

Berdasarkan hasil penelitian, kadar optimum diperoleh pada variasi penambahan limbah karet sebesar 1,5% terhadap berat campuran aspal. Pada kadar tersebut diperoleh keseimbangan terbaik antara stabilitas, fleksibilitas, dan durabilitas campuran sesuai Spesifikasi Bina Marga 2018.

Dalam pekerjaan perkerasan jalan AC-WC, kebutuhan campuran aspal rata-rata untuk tebal lapisan 4 cm adalah sekitar 110–120 kg/m². Jika digunakan kadar limbah karet sebesar 1,5%, maka kebutuhan limbah karet yang dapat dimanfaatkan dihitung sebagai berikut:

$$1,5\% \times 120 \text{ kg} = 1,8 \text{ kg/m}^2$$

Artinya, setiap 1 m² perkerasan jalan mampu memanfaatkan sekitar 1,8 kg limbah karet ban dalam bekas. Apabila diaplikasikan pada pembangunan jalan sepanjang 1 km dengan lebar perkerasan 7 meter, maka luas total perkerasan adalah:

$$1.000 \times 7 = 7.000 \text{ m}^2$$

Sehingga total limbah karet yang dapat dimanfaatkan adalah:

$$7.000 \times 1,8 = 12.600 \text{ kg}$$

atau setara dengan:

$$12,6 \text{ ton limbah karet ban dalam bekas}$$

Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan limbah ban dalam bekas sebagai bahan tambah campuran AC-WC memiliki potensi besar dalam mengurangi pencemaran lingkungan akibat limbah karet yang sulit terurai. Selain meningkatkan karakteristik Marshall campuran aspal, pemanfaatan limbah ini juga mendukung konsep *sustainable pavement* dan konstruksi ramah lingkungan melalui penerapan prinsip daur ulang material pada infrastruktur jalan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, penambahan limbah ban dalam bekas sebagai bahan tambah pada campuran Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) berpengaruh terhadap karakteristik Marshall, meliputi Bulk Density, Stability, Flow, VIM, VFA, VMA, dan Marshall Quotient (MQ). Seluruh variasi penambahan limbah karet sebesar 1,5%, 2%, dan 2,5% masih memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 sehingga berpotensi digunakan sebagai bahan tambah alternatif pada campuran perkerasan jalan.

Variasi optimum diperoleh pada kadar penambahan limbah karet sebesar 1,5% dengan nilai Bulk Density 2,294 gr/cc, Stability 1118 kg, Flow 2,95 mm, VIM 4,35%, VFA 72,11%, VMA 15,30%, dan MQ 365 kg/mm. Variasi tersebut memberikan keseimbangan terbaik antara kekuatan, fleksibilitas, dan durabilitas campuran. Pemanfaatan limbah ban dalam bekas juga memberikan manfaat lingkungan karena mampu mengurangi limbah padat yang sulit terurai. Pada aplikasi lapisan AC-WC, setiap 1 km jalan dengan lebar 7 meter dapat memanfaatkan sekitar 12,6 ton limbah karet ban dalam bekas, sehingga mendukung konsep konstruksi jalan berkelanjutan dan ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Al FaritzieHijriah, H., Umari, Z. F., & Panjaitan, R. (2021). Analisis Kadar Optimum Serbuk Karet Ban Dalam Bekas Pada Campuran Aspal. *TAPAK (Teknologi Aplikasi Konstruksi): Jurnal Program Studi Teknik Sipil*, 11(1), 29-35.
<http://dx.doi.org/10.24127/tp.v11i1.1784>
- Andriansyah, D., & Walujodjati, E. (2023). Pengaruh Bahan Tambah Superplasticizer pada Beton Porous Terhadap Kuat Tekan, Tarik Belah dan Permeabilitas. *Jurnal Konstruksi*, 21(2).
<https://doi.org/10.33364/konstruksi.v.21-2.1386>
- Asfiati, S., Zurkiyah, Yani, M., Indrayani, & Prafanti, S. (2022). Analysis of mixed stiffness modulus of different asphalt levels for AC-BC pavement layer with pertamina 60/70 asphalt and 60/70 esso asphalt material. *Journal of Physics: Conference Series*, 2193(1).
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/2193/1/012017>
- Azitama, F. D. (2025). Penggunaan Bata Ringan Pecah Sebagai Filler Agregat Pada Campuran Asphalt Concrete Wearing Course Terhadap Karakteristik Marshall. *Ge-STRAM: Jurnal Perencanaan dan Rekayasa Sipil*, 8(1).
<https://doi.org/10.25139/jprs.v8i1.9627>
- Ban, I., Barišić, I., Cuculić, M., & Zvonarić, M. (2025). Performance Evaluation of Waste Rubber-Modified Asphalt Mixtures: A Comparative Study of Asphalt Concrete and Stone Mastic Asphalt Gradings. *Infrastructures*, 10(5).
<https://doi.org/10.3390/infrastructures10050107>
- Fadhil, A., Ismy, R., Khairunnisa, H., & Amna, K. (2025). Evaluasi karakteristik marshall campuran AC-WC dengan modifikasi aspal menggunakan limbah ban dalam bekas. *Jurnal Sains Riset*, 15(1).
<https://doi.org/10.47647/jsr.v15i1.3160>
- Fahmi, A. K. (2021). Karakteristik Campuran Beton Aspal (AC-WC) Dengan Menggunakan Variasi Kadar Filler Limbah Abu Terbang Batubara. *Jurnal Online Skripsi Manajemen Rekayasa Konstruksi (JOS-MRK)*, 2(1), 46-50.
<http://jos-mrk.polinema.ac.id/index.php/JOS-MRK/article/view/34>
- Irwanto, T. J., Suryani, N. L., & Renaldi, S. (2023). Perbandingan Karakteristik Marshall Aspal Karet (Natural Rubber Modified Asphalt) dan Aspal Penetrasi 60/70 pada Campuran Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) Menggunakan Agregat Lokal Madura. *Ge-STRAM: Jurnal Perencanaan dan Rekayasa Sipil*, 6(1), 33-38.
<https://doi.org/10.25139/jprs.v6i1.5168>
- Khoiriyah, D. I., Indriani, A. M., & Utomo, G. (2024). Karakteristik Marshall Quotient pada Hot Mix Asphalt Menggunakan Agregat Melak Kutai Barat. *Jurnal Komposit: Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik Sipil*, 8(2), 231–239.
<https://doi.org/10.32832/komposit.v8i2.15052>
- Lapian, F. E. P., Irinato, I & Gunanto, R. (2024). Kinerja campuran aspal HRS-base dengan penambahan limbah ban dalam bekas pada perendaman air laut. *Konferensi Nasional Teknik Sipil (KoNTekS)*, 2(6).
<https://doi.org/10.62603/konteks.v2i6.275>
- Mashuri, M., Syahbani, D., Labaso, E. R., & Rahman, R. (2024). Pengaruh Kadar Aspal dan Kepadatan pada Nilai Kekesatan (Skid Resistance) Permukaan Perkerasan Beton Aspal Lapis Aus. *Rekonstruksi Tadulako: Civil Engineering Journal on Research and Development*.
<https://doi.org/10.22487/renstra.v5i2.677>
- Massara, A., Bulgis, & Setiawan, A. R. (2024). The Marshall Characteristics of Mixed Asphalt Concrete-Wearing Course Using Kudo Gum Additive. *Civil Engineering and Architecture*, 12(1).
<https://doi.org/10.13189/cea.2024.120109>
- Masri, Y., Siahaya, V. T. C., & Istia, P. (2023). Pengaruh penambahan aspal terhadap stabilitas Marshall pada material reclaimed asphalt pavement (RAP). *Jurnal Indonesia Sosial Teknologi*, 4(5), 543–555.
<https://doi.org/10.59141/jist.v4i5.614>
- Muis, L., Prabasari, I. G., & Suyana, N. (2019). Pengaruh Berat Katalis Zeolit Alam terhadap Pencairan Limbah Ban dalam Bekas Kendaraan Bermotor Roda Dua Menjadi Bahan Bakar Cair. *Jurnal Daur Lingkungan*, 2(2).
<https://doi.org/10.33087/daurling.v2i2.29>
- Nurdin, A., & Nuklirullah, M. (2023). AC-WC Strength Analysis with the Marshall Method on Fly Ash Mixture as a Substitute for Stone Ash Materials. *Jurnal Komposit: Jurnal Ilmu-ilmu Teknik Sipil*, 7(2), 161–165.
<https://doi.org/10.32832/komposit.v7i1.9190>
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2018). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 22/PRT/M/2018 Tahun 2018 tentang Pembangunan Bangunan Gedung Negara*

- Putra, M. T., Destania, H. R., & Febryandi, F. (2023). Analisis Karakteristik Marshall Campuran Aspal Modifikasi pada Asphalt Concrete – Wearing Course (AC – WC) dengan Penambahan Serbuk Ban Kendaraan. *Jurnal Teknik Sipil*, 19(2).
<https://doi.org/10.28932/jts.v19i2.5580>
- Ramadhan, D. M., Indriani, A. M., & Utomo, G. (2023). Analisis Karakteristik Penggunaan Aspal Polimer PG 76 Terhadap Durabilitas Marshall Lapisan Asphalt Concrete-Wearing Course. *Konferensi Nasional Teknik Sipil (KoNTekS)*, 1(3).
<https://doi.org/10.62603/konteks.v1i3.40>
- Rashita, R. A., & Wulandari, S. (2025). Analisis Stabilisasi Tanah Lempung Dengan Menggunakan Bahan Tambah Xanthan Gum. *Jurnal Teknik Sipil*, 21(1).
<https://doi.org/10.28932/jts.v21i1.7149>
- Sitompul, O. H., Alamsyah, W., & Basrin, D. (2024). Pengaruh Pemanfaatan Abu Cangkang Kerang Darah sebagai Bahan Tambah Filler Campuran Aspal terhadap Nilai Marshall pada Perkerasan Jalan AC-WC. *Jurnal Komposit*, 8(2).
<https://doi.org/10.32832/komposit.v8i2.15126>
- SNI 06-2489-1991. (1991). *Metode Pengujian Campuran Aspal dengan Alat Marshall*. Badan Standardisasi Nasional (BSN).
<https://sisni.bsn.go.id/standard/detail/3492>
- Vebrian, V., Asnan, M. N., Yatnikasari, S., Santoso, H., Joewono, A., & Dumendehe, T. D. (2025). Inovasi Pemanfaatan Limbah Arang Kulit Kayu Galm Sebagai Bahan Tambah Pada Campuran Beton. *Widya Teknik*, 24(1).
<https://doi.org/10.33508/wt.v24i1.6086>
- Wahid, N., & Taufan, M. (2020). Pemanfaatan GGBFS Sebagai Bahan Tambah Aduk Mortar. *Potensi: Jurnal Sipil Politeknik*, 22(1).
<https://doi.org/10.35313/potensi.v22i1.1788>